

COMUNE DI PISA

Direzione Ambiente - Emas  
U.O.Difesa del Suolo - Tutela delle acque

~

Palazzo Pretorio – Vicolo del Moro, 2

e-mail: [ambiente@comune.pisa.it](mailto:ambiente@comune.pisa.it)  
Tel: 050 910404  
Fax: 050 910600  
sito internet:  
[www.comune.pisa.it/ambiente](http://www.comune.pisa.it/ambiente)

orario di apertura:  
martedì: 9.00 – 13.00  
giovedì: 15.00 – 17.00

*Titolo del progetto:*

**Variante al Piano Strutturale finalizzata alla sistemazione al  
completamento e allo sviluppo della infrastruttura aeroportuale**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                    |                                                                                     |                                                                                                        |                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <i>Responsabile procedimento:</i><br><b>Arch. Gabriele Berti</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                    | <i>Titolo del documento</i><br><b>RELAZIONE PERICOLOSITÀ GEOLOGICA</b>              |                                                                                                        |                        |
| <i>Relazione specialistica predisposta da:</i><br>Dott. Geol. Marco Redini<br><br>Con la collaborazione per la<br>parte tecnica di:<br>dott. Aldo Iannucci<br>parte amministrativa di:<br>sig.ra Patrizia Bartalini<br><br><br><i>Redazione redatta ai sensi della<br/>D.P.G.R.T. 25.10.011 n. 53/R<br/>(Regolamento di attuazione dell'art.62,<br/>L.R. n. 1 del 03.01.05, "Norme per il<br/>governo del territorio" in materia di<br/>indagini geologiche)</i> |                    |  |                                                                                                        |                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                    | <i>Progettista responsabile dell'elaborato</i><br>Dott. Geol. Marco Redini          |                                                                                                        |                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Data<br>20/11/2013 | Pagine<br>1 di 92                                                                   | Identif.<br>U:\DifesaSuolo\DatiCondivisi\01<br>FattibilitàGeologica\01_0023_Cit<br>tadellaAeroportuale | Elaborato<br><b>01</b> |

---

## Sommario

|                                                                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>PREMESSA .....</b>                                                                                                 | <b>3</b>  |
| <b>RIFERIMENTI NORMATIVI.....</b>                                                                                     | <b>3</b>  |
| <b>PREVISIONI URBANISTICHE.....</b>                                                                                   | <b>3</b>  |
| <b>SINTESI DELLE CONOSCENZE .....</b>                                                                                 | <b>7</b>  |
| 1.1 ASPETTI URBANISTICO – TERRITORIALI .....                                                                          | 7         |
| <b>ANALISI E APPROFONDIMENTI.....</b>                                                                                 | <b>24</b> |
| 1.2 ELEMENTI GEOLOGICI E STRUTTURALI .....                                                                            | 24        |
| 1.2.1 <i>Inquadramento geologico regionale ed evoluzione paleografica dell'area</i> .....                             | 24        |
| 1.2.2 <i>Aspetti geologici generali</i> .....                                                                         | 27        |
| 1.2.3 <i>Carta litotecnica</i> .....                                                                                  | 35        |
| 1.2.4 <i>Carta della profondità del tetto delle argille compressibili</i> .....                                       | 38        |
| 1.3 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI GEOMORFOLOGICI.....                                                     | 42        |
| 1.4 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI IDRAULICI.....                                                          | 45        |
| 1.4.1 <i>Lineamenti idrografici e idraulici generali. - La carta altimetrica</i> .....                                | 45        |
| 1.4.2 <i>Carta delle aree allagabili</i> .....                                                                        | 56        |
| 1.4.3 <i>Breve analisi storica delle problematiche legate all'esondazione dell'Arno e al ristagno delle acque</i> ... | 57        |
| 1.4.4 <i>Ipotesi di riassetto idraulico della piana di Pisa</i> .....                                                 | 69        |
| 1.4.5 <i>Stato di efficienza delle opere idrauliche e livelli di rischio</i> .....                                    | 70        |
| 1.5 ELEMENTI PER LE VALUTAZIONI DEGLI ASPETTI DI DINAMICA COSTIERA.....                                               | 71        |
| 1.5.1 <i>Tendenze evolutive</i> .....                                                                                 | 72        |
| 1.6 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI IDROGEOLOGICI .....                                                     | 73        |
| 1.6.1 <i>I principali sistemi idrogeologici</i> .....                                                                 | 73        |
| 1.6.2 <i>Carta idrogeologica</i> .....                                                                                | 74        |
| 1.7 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI LOCALI E DI SITO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO ....              | 77        |
| 1.7.1 <i>Caratterizzazione sismica dei terreni</i> .....                                                              | 80        |
| <b>VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ .....</b>                                                                           | <b>81</b> |
| 1.8 CARTE PERICOLOSITÀ DA PS.....                                                                                     | 82        |
| <b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....</b>                                                                                | <b>89</b> |



## PREMESSA

La variante riguarda prevalentemente un'area che non modifica complessivamente l'assetto urbano della territorio.

L'amministrazione Comunale ha dato via congiuntamente agli altri Comuni dell'area pisana la redazione del nuovo Piano Strutturale d'area e in quest'ottica intende dar corso in anticipo alla variante relativa all'infrastruttura aeroportuale per dotarsi di spazi sufficienti per migliorare ulteriormente i livelli qualitativi per confrontarsi con strutture similari.

Per conseguire i suddetti obiettivi la variante del Piano Strutturale, alla quale poi si dovrà seguire quella del regolamento urbanistico consiste in una modifica dei perimetri delle UTOE 27-28-35 e da una loro parziale ridefinizione di contenuti.

Per ulteriori informazioni far riferimento alla relazione tecnica che accompagna la variante.

## RIFERIMENTI NORMATIVI

Le presenti indagini geologico-tecniche sono state redatte ai sensi della seguente disciplina e normativa pianificatoria:

- DPCM 5.11.99 e ss. mm. e ii.: *Approvazione del Piano Stralcio relativo alla riduzione del Rischio idraulico del Bacino del Fiume Arno*;
- DPCM 6 maggio 2005: *Approvazione del Piano di Bacino del Fiume Arno, stralcio Assetto Idrogeologico modificato con Decr.Segr.generale n° 15 del 08/03/2012*
- *Progetto di Piano stralcio "Bilancio Idrico", Delib. Com. Istituzionale del 21 dic. 2010 e delle relative misura di salvaguardia*;
- *Piano di Indirizzo Territoriale della Regione Toscana (PIT), Delib. Reg. n. 72 del 24 luglio 2007*;
- *DGRT 19 giugno 2006, n. 431 "Riclassificazione sismica del territorio regionale: Attuazione del DM 14.9.2005 e OPCM 3519 del 28 aprile 2006 pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale dell'11.5.2006"*;
- *DPGR n. 53/R del 25 ottobre 2011 - Regolamento di attuazione dell'art. 62 della LR 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche*;
- *LR 21 maggio 2012 n. 21- Disposizioni urgenti in materia di difesa dal rischio idraulico e tutela dei corsi d'acqua*;
- *Piano Strutturale del comune di Pisa approvato con delib. del C. C. n.103 del 21/10/;*

Il presente lavoro, pertanto, sulla base della revisione del Quadro Conoscitivo acquisito dalla pianificazione a livello comunale e sovraordinata, ha inteso valutare la pericolosità delle trasformazioni in oggetto.

Gli elaborati del QC a supporto del PS e RU considerati per le valutazioni di fattibilità della presente Variante, sono i seguenti:

Da PS (1998):

- ❖ Carta delle aree allagabili (scala 1:12.000)
- ❖ Carta della Pericolosità (scala 1:12.000)
- ❖ Carta profon.tetto argille compressibili (scala 1:12.000)
- ❖ Carta geologica (scala 1:12.000)
- ❖ Carta idrogeologica (scala 1:12.000)
- ❖ Carta litotecnica (scala 1:12.000)

## PREVISIONI URBANISTICHE

Di seguito sono riportate le aree oggetto delle previsioni urbanistiche, le attuali destinazioni d'uso previste dal Regolamento Urbanistico vigente e quelle previste dalla variante.

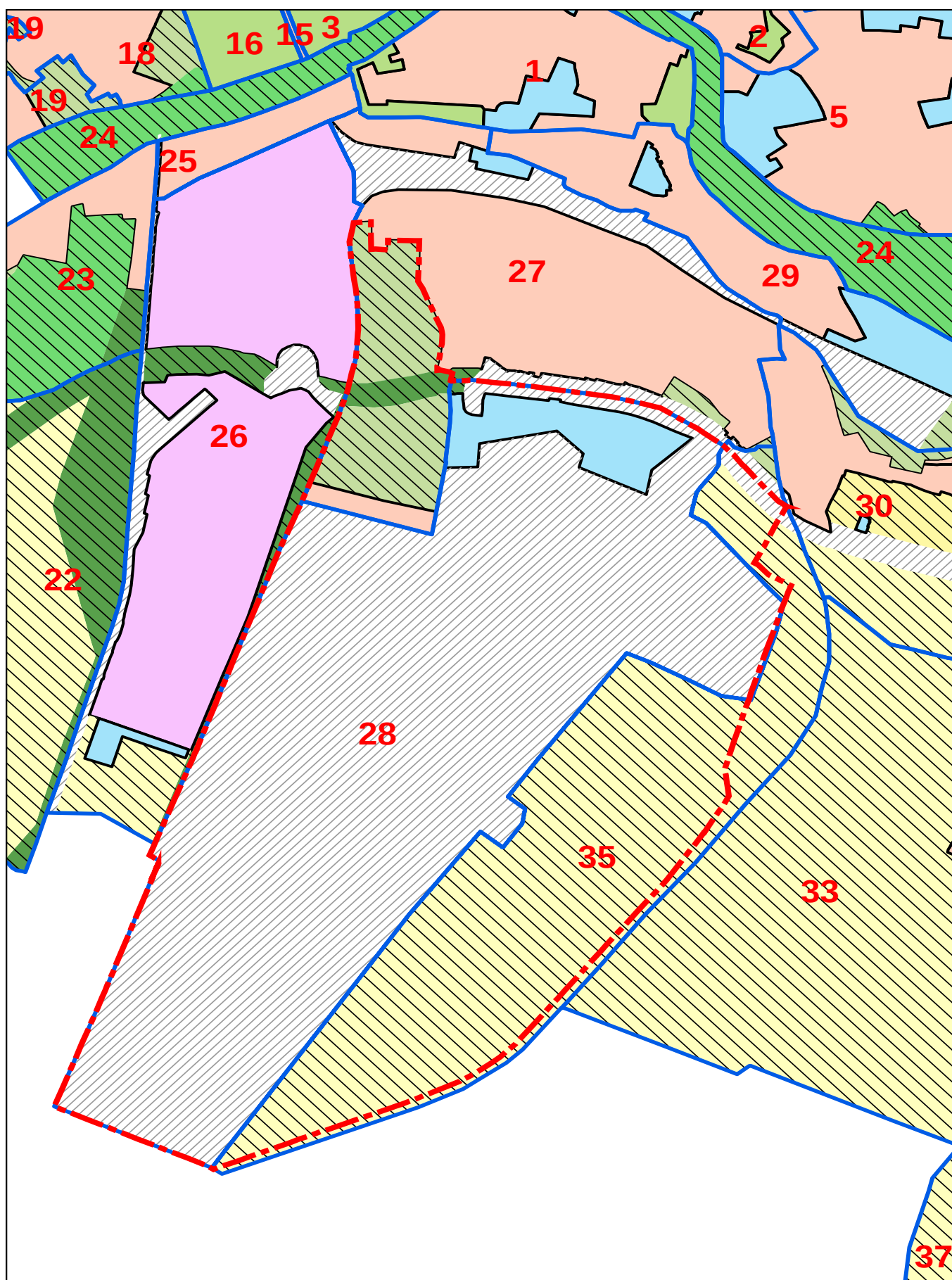


Fig. 1 - STATO VIGENTE

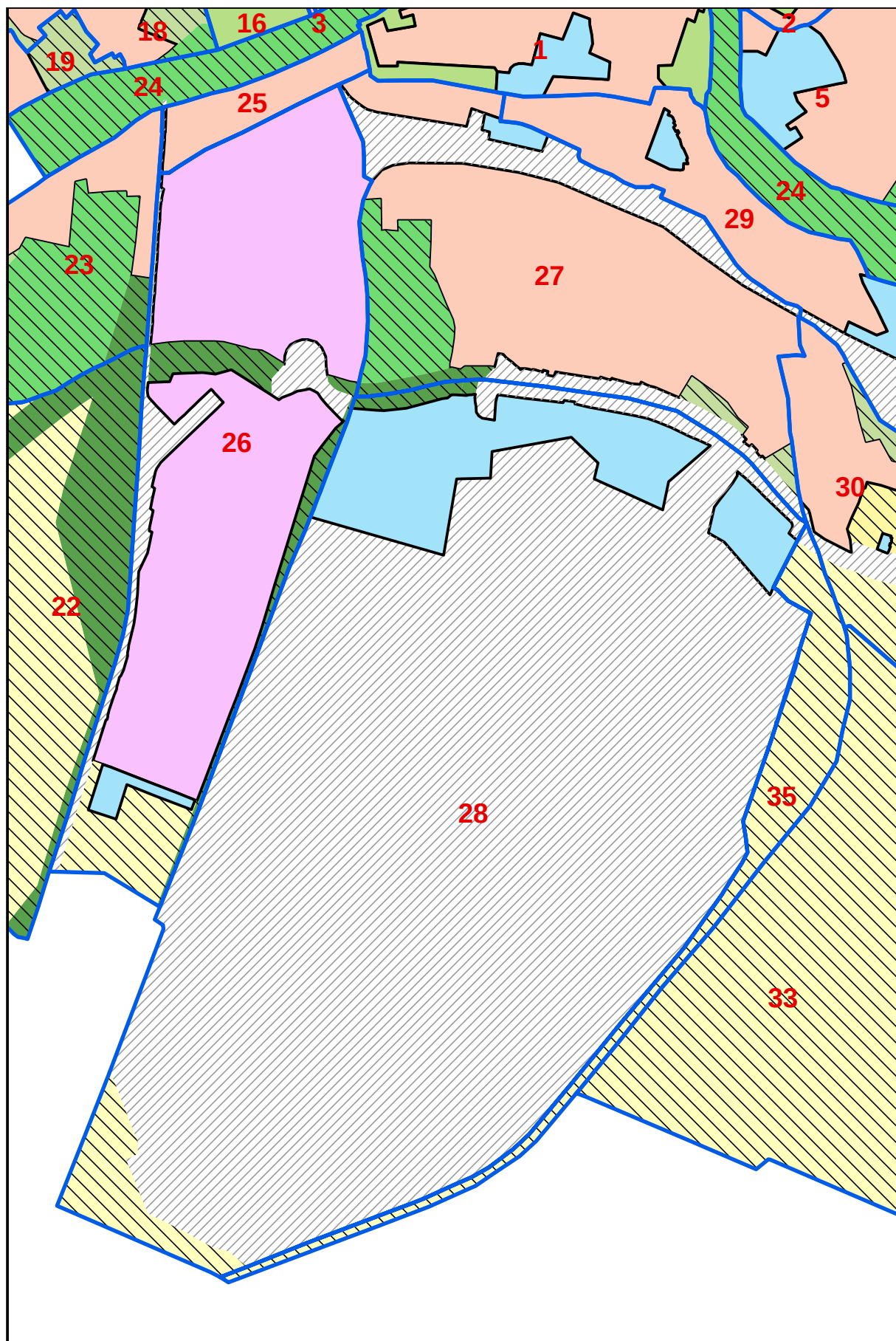
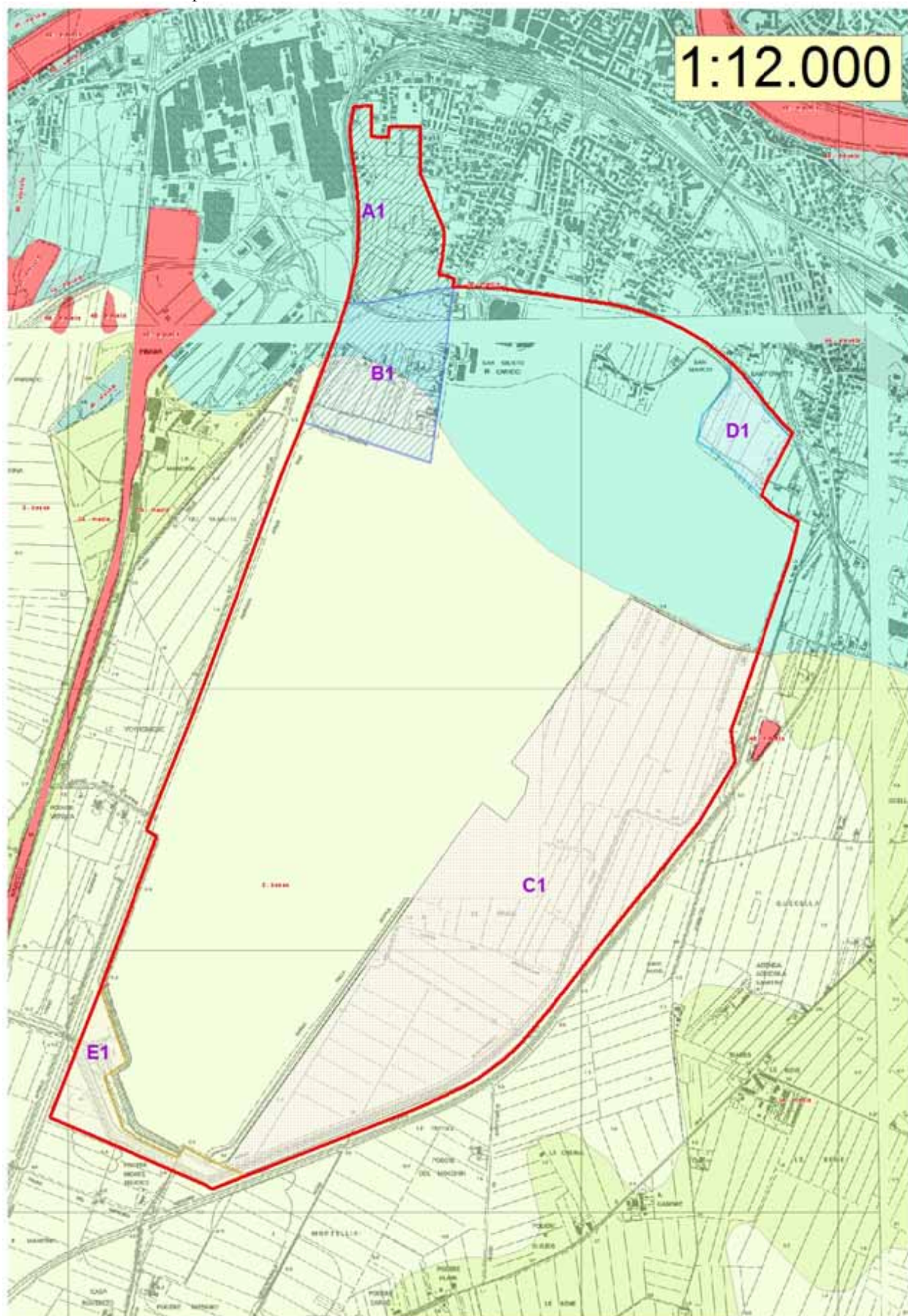


Fig. 2 - STATO VARIANTE



Con riferimento alle due carte Vigente e Variante è stato ricostruito un ulteriore carta che evidenzia le aree che sono interessate alle modifiche, tale cartografia è corredata da una tabella esplicativa.



## PIANO STRUTTURALE -TABELLA 1

### Sistemi insediativi ambientali infrastrutturali

| Stato Vigente                                                        | Stato Variato                                             |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| UTOE 27 aree di connessione (art. 36)*                               | UTOE 27 parchi urbani (art.34)*                           | <b>A1</b> |
| UOTE 27 aree di connessione (art. 36)*<br>e aree residenz.(art. 31)* | UTOE 28 aree per servizi urbani e territoriali (art. 32)* | <b>B1</b> |
| UTOE 35 aree ad esclusiva funzione<br>agricola (art. 38)**           | UTOE 28 sistema infrastrutturale (art. 43)*               | <b>C1</b> |
| UTOE 35 aree ad esclusiva funzione<br>agricola (art. 38)**           | UTOE 28 aree per servizi urbani e territoriali (art. 32)* | <b>D1</b> |
| da infrastruttura aeroportuale                                       | Agricolo                                                  | <b>E1</b> |

\*\* questa area è già attualmente integrata nella parte della infrastruttura aeroportuale

\* gli articoli richiamati sono quelli delle norme del PS

## SINTESI DELLE CONOSCENZE

### 1.1 ASPETTI URBANISTICO – TERRITORIALI

Di seguito sono esaminati i principali vincoli territoriali che insistono nelle aree in oggetto.

#### 1.1.1.1 VINCOLO IDROGEOLOGICO

Le aree di interesse non si trovano in zone soggette al vincolo idrogeologico ai sensi della Legge n°3267 del 30.12.1923 e degli artt. 21 e 22 del R.D.L. 1126/1926.

#### 1.1.1.2 PERICOLOSITÀ E VULNERABILITÀ – PRI – PAI – PIT – PTC – PS

Di seguito sono descritti gli aspetti legati alla pericolosità e vulnerabilità, in relazione agli stralci di Piano di Bacino attualmente approvati, al PIT e al PTC delle aree oggetto di variante. La pericolosità e vulnerabilità contenute nel Piano Strutturale (PS) sono illustrate in apposito capitolo.

Tenuto conto che:

- ✓ dalle misure di salvaguardia di cui al Titolo 2 della D.C.R.T. n°72 del 24 luglio 2007 “Piano di Indirizzo Territoriale”, vigenti dal 17 ottobre 2007;
- ✓ il PTC a seguito dell’adeguamento al PIT, è stato approvato con Deliberazione del Consiglio Provinciale n.100 del 27 luglio 2006 "Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale: Variante di adeguamento al Piano di Indirizzo Territoriale ed alla Legge Regionale n.01/2005 - Approvazione". Tale piano ha acquistato efficacia a partire dal giorno 6 settembre 2006 data in cui la Provincia ha pubblicato sul Bollettino Ufficiale della Regione Toscana n.36 parte IV, l'avviso della Deliberazione. Le nuove norme prevedono che tutta la parte della disciplina del PTC riguardante le aree a differenti classi di pericolosità geomorfologica ed idraulica e la relativa cartografia sia sostituita dalle disposizioni del P.A.I.. Per quanto attiene la vulnerabilità idrogeologia la disciplina approvata nel PTC del 2006 mantiene la sua validità, non essendo al momento oggetto di disciplina specifica da parte dei piani di assesto idrogeologico.

Gli aspetti da analizzare per quanto attiene, la pericolosità idraulica sono legati al Piano di Bacino stralcio “Riduzione del rischio idraulico”, al Piano di Bacino stralcio “Assetto idrogeologico” e al Piano Strutturale (PRI+PAI+PIT+PS).

Per la pericolosità geomorfologica gli aspetti da analizzare sono legati al Piano di Bacino stralcio “Assetto idrogeologico” e al Piano Strutturale (PAI+PS).

Per la vulnerabilità idrogeologica gli aspetti da analizzare sono legati al Piano Territoriale di Coordinamento e al Piano Strutturale (PTC+PS).

*PERICOLOSITÀ IDRAULICA*

Secondo le vigenti normative in materia di pericolosità e rischio idraulico, dettate dall'Autorità di Bacino del fiume Arno e dalla Regione Toscana, le aree di interesse risultano essere sottoposte in parte a particolari vincoli e direttive.

Nel Piano Stralcio relativo alla Riduzione del Rischio Idraulico del Bacino del fiume Arno, approvato con D.P.C.M. 5 novembre 1999, le aree di variante risultano:

- ✓ - nella “Carta degli interventi strutturali per la riduzione del rischio idraulico nel bacino dell'Arno”. (Scala 1:25.000) non essere interessata da aree destinate ad interventi di tipo A o B.
- ✓ - nella “Carta guida delle aree allagate redatte sulla base degli eventi alluvionali significativi (1966 - 1999)” (Scala 1:25.000) le aree di variante risultano essere prevalentemente tra quelle interessate da “inondazioni eccezionali”, eccetto una minima parte a sud.

| Codice    | Previsioni     | Carta Aree Allagabili          |
|-----------|----------------|--------------------------------|
| <b>A1</b> | Vedi tabella 1 | eccezionali                    |
| <b>B1</b> | Vedi tabella 1 | eccezionali                    |
| <b>C1</b> | Vedi Tabella 1 | Parte eccezionali e ricorrenti |
| <b>D1</b> | Vedi Tabella 1 | eccezionali                    |
| <b>E1</b> | Vedi Tabella 1 | Parte eccezionali e ricorrenti |



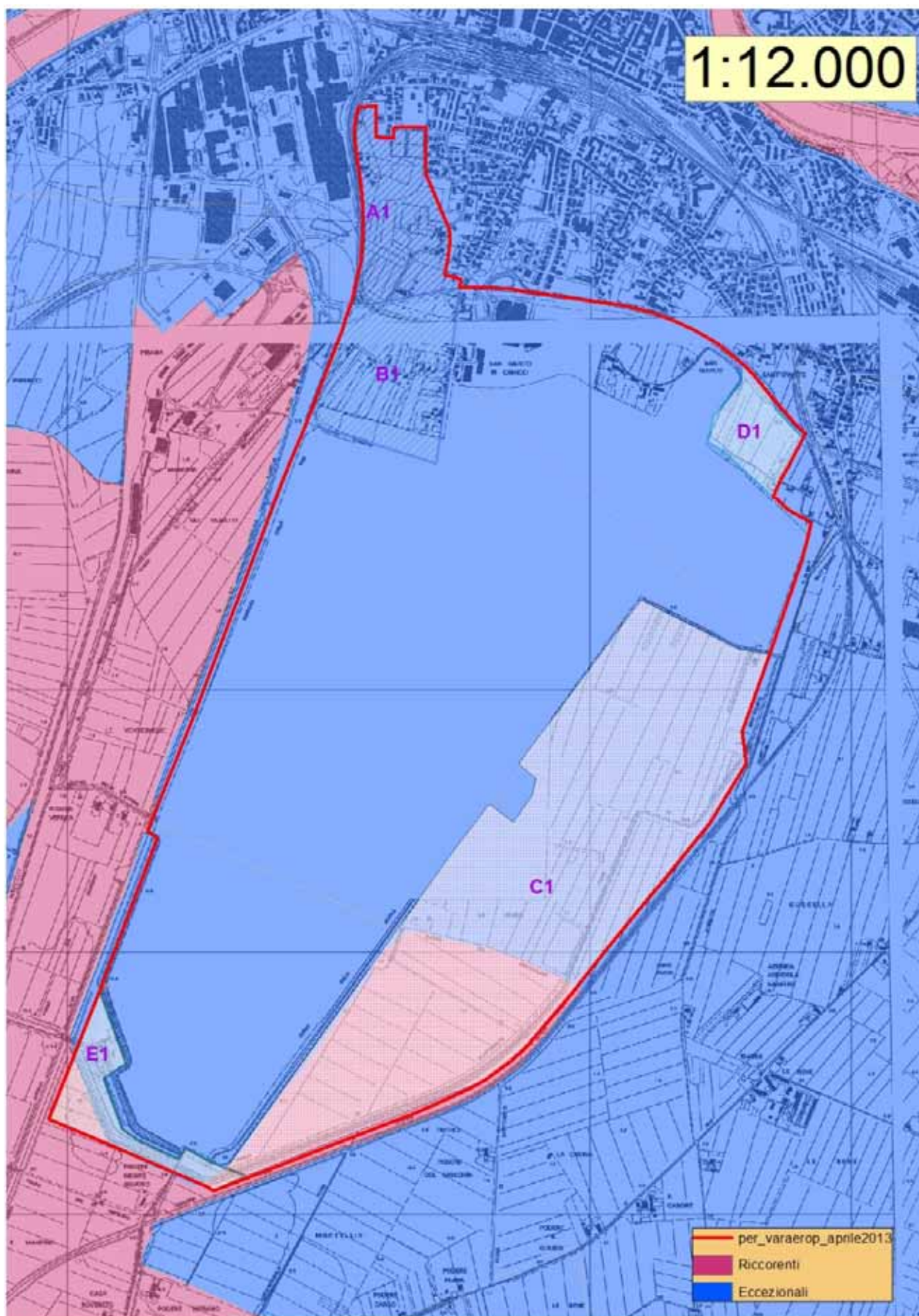


Fig. 3 PRI-Carta delle Aree Allagabili

Nel Piano di Bacino stralcio Assetto Idrogeologico adottato nella seduta di Comitato Istituzionale dell'11 novembre 2004 ed entrato in vigore con il D.P.C.M. 6 maggio 2005 "Approvazione del piano di bacino del fiume Arno, stralcio assetto idrogeologico" (GU n. 230 del 3-10-2005) e modificato con dec. Segr. Generale n. 15/12 nel marzo 2012. Le aree risultano classificate come da tabella sottostante.

Dove, così come al Titolo II, Capo I, art. 5 delle Norme di Attuazione del Progetto di piano la pericolosità è così graduata:

b) "Livello di dettaglio in scala 1:10.000".

- ❖ pericolosità idraulica molto elevata (P.I.4) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno  $TR \leq 30$  anni e con battente  $h \geq 30$  cm;
- ❖ pericolosità idraulica elevata (P.I.3) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno  $TR \leq 30$  anni con battente  $h < 30$  cm e aree inondabili da un evento con tempo di ritorno  $30 < TR \leq 100$  anni e con battente  $h \geq 30$  cm;
- ❖ pericolosità idraulica media (P.I.2) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno  $30 < TR \leq 100$  anni e con battente  $h < 30$  cm e aree inondabili da eventi con tempo di ritorno  $100 < TR \leq 200$  anni ;
- ❖ pericolosità idraulica moderata (P.I.1) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno  $200 < TR \leq 500$  anni.

| Codice cartografia | Previsioni     | Pericolosità idraulica ai sensi del PAI |
|--------------------|----------------|-----------------------------------------|
|                    |                |                                         |
| <b>A1</b>          | Vedi tabella 1 | PI3-PI4                                 |
| <b>B1</b>          | Vedi tabella 1 | PI3-PI4                                 |
| <b>C1</b>          | Vedi Tabella 1 | PI3-PI4                                 |
| <b>D1</b>          | Vedi Tabella 1 | PI2                                     |
| <b>E1</b>          | Vedi Tabella 1 | PI4                                     |



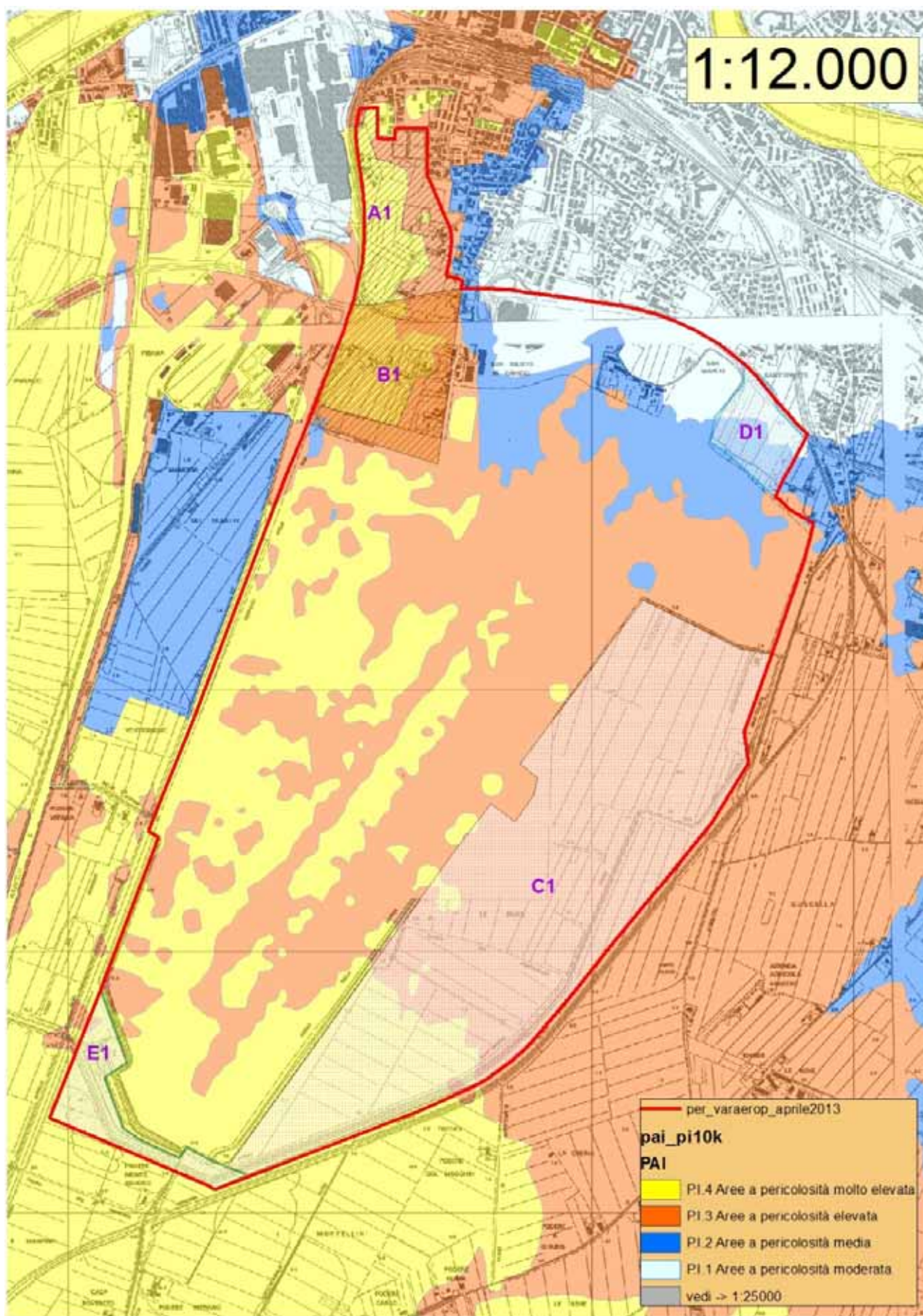


Fig. 4 - PAI



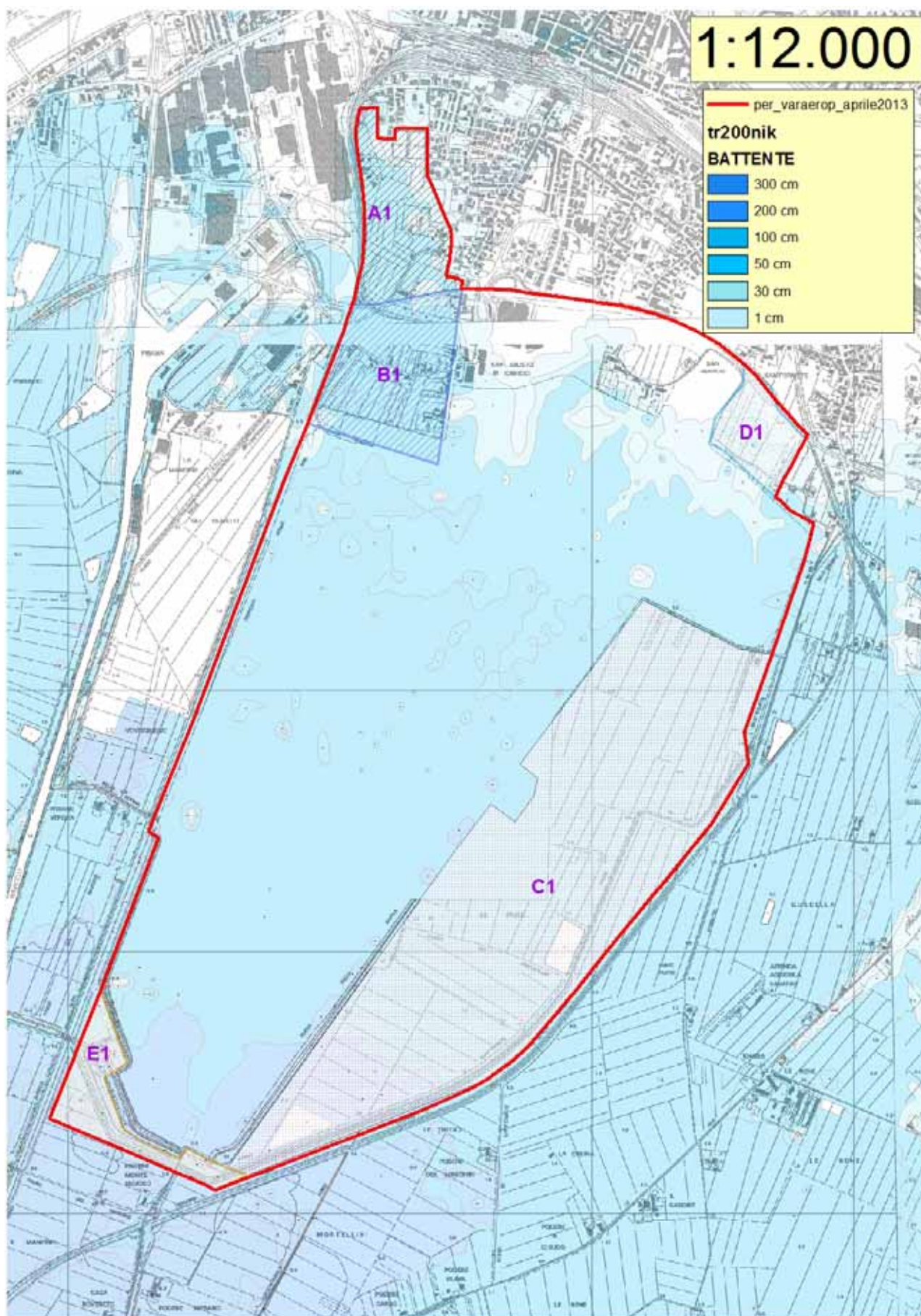


Fig. 5-Carta eventi alluvionali con Tr200



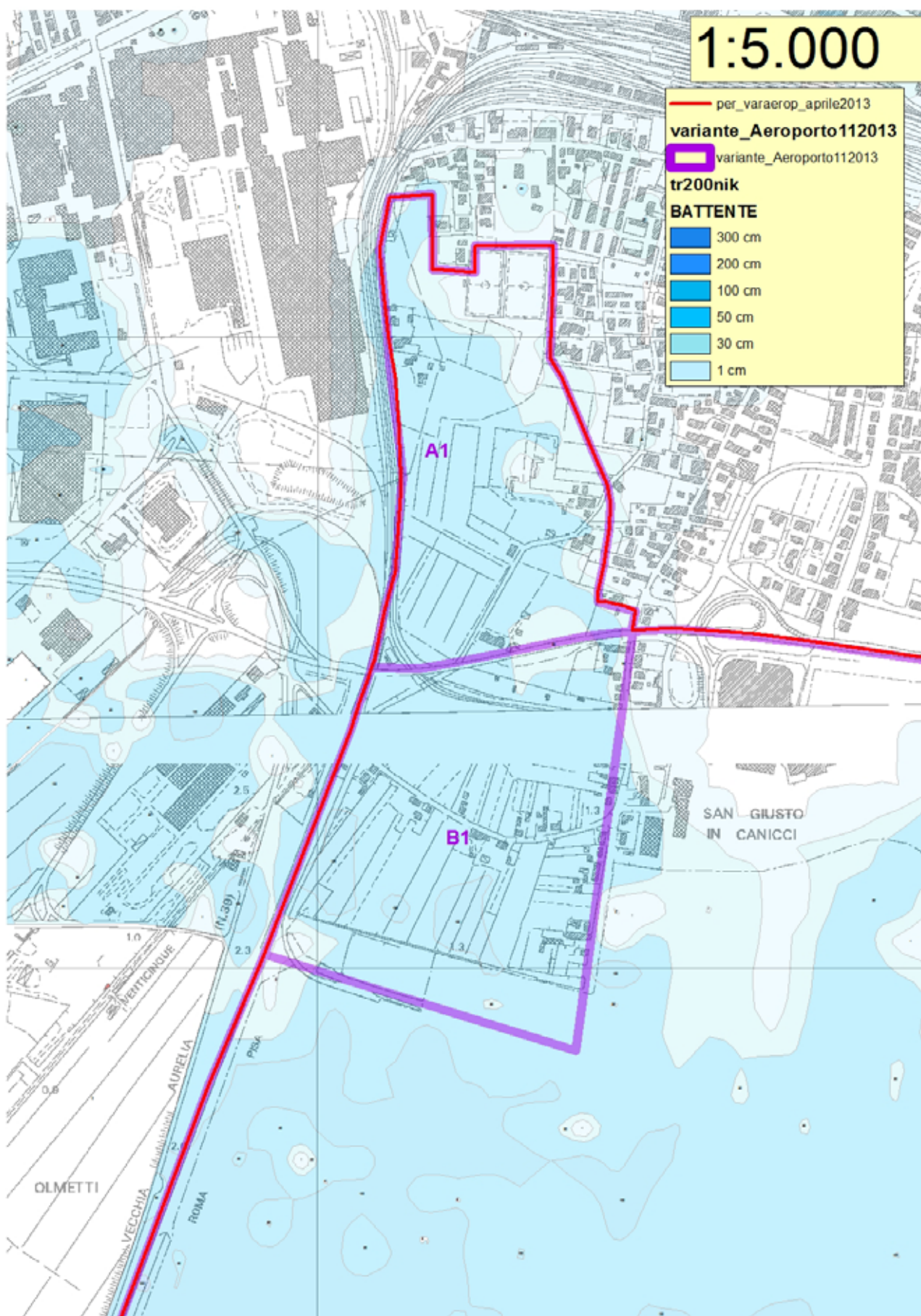


Fig. 6-Particolare carta eventi alluvionali con Tr200





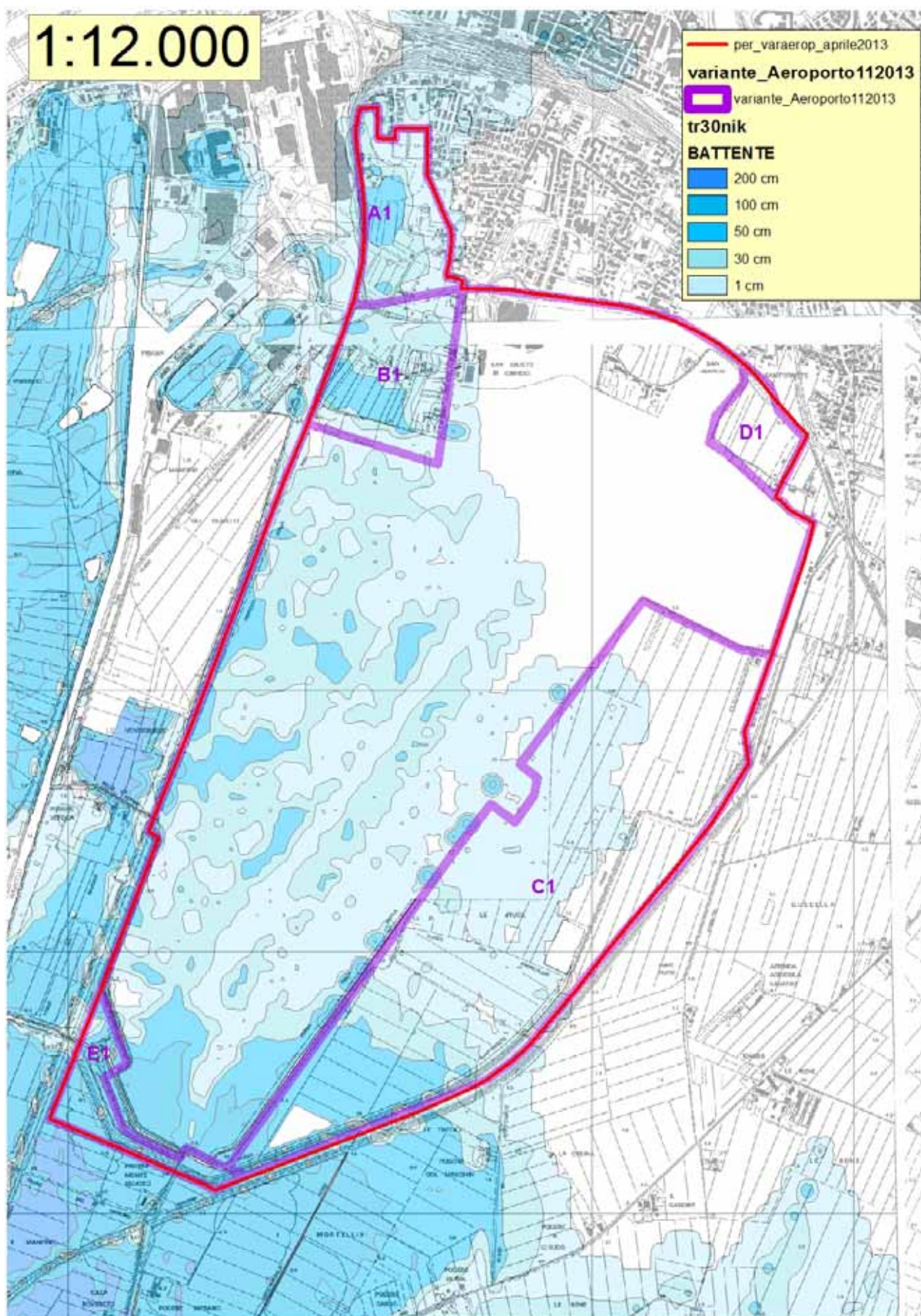


Fig. 8 – Carta eventi alluvionali con Tr30



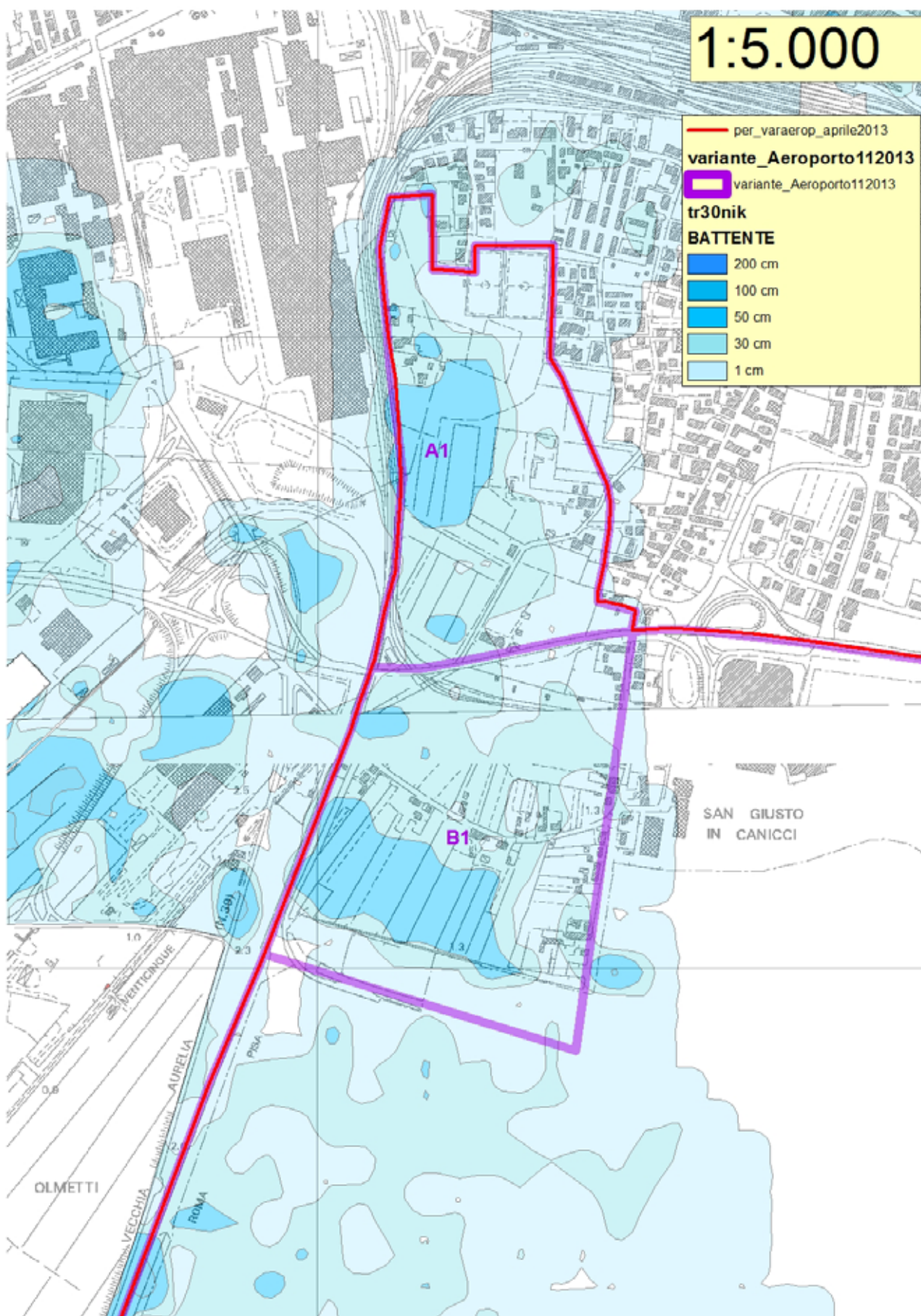
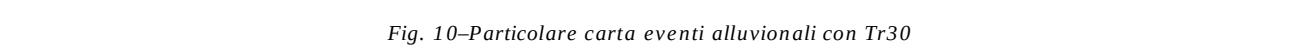


Fig. 9-Particolare carta eventi alluvionali con Tr30





| Codice cartografia | Previsioni     | Battente m s.l.m.m  | Pericolosità ai sensi della 53/r |
|--------------------|----------------|---------------------|----------------------------------|
| <b>A1</b>          | Vedi tabella 1 | <b>2,12</b>         | <b>I4</b>                        |
| <b>B1</b>          | Vedi tabella 1 | <b>2,12</b>         | <b>I4</b>                        |
| <b>C1</b>          | Vedi Tabella 1 | <b>2,12</b>         | <b>I4</b>                        |
| <b>D1</b>          | Vedi Tabella 1 | <b>battenten.d.</b> | <b>I3-I2</b>                     |
| <b>E1</b>          | Vedi Tabella 1 | <b>2,12</b>         | <b>I4</b>                        |

#### PIANO DI INDIRIZZO TERRITORIALE (REGIONE TOSCANA)

Si ricorda che ai sensi del comma 3 dell'art. 36 "Lo Statuto del territorio toscano. Misure generali di salvaguardia - Titolo 2 – Statuto de territorio toscano, Piano di Indirizzo Territoriale", entrato in vigore il 17 ottobre 2007, è individuata una fascia della larghezza di 10 metri dal piede esterno dell'argine, per i corsi d'acqua "Fosso Acqua Chiara e di Titignano, Fiume Arno, Emissario del Bientina, Canale Demaniale di Riprafatta, Fiume Morto e Fosso delle Vicinaia, Fiume Morto Vecchio, Canale Navigabile dei Navicelli, Fossa Nuova, Canale Scolmatore dell'Arno", in tale area *"gli strumenti di pianificazione territoriale e gli atti di governo del territorio non devono prevedere nuove edificazioni, manufatti di qualsiasi natura o trasformazioni morfologiche negli alvei, nelle golene, sugli argini e nelle aree comprendenti le due fasce di larghezza di m.10 dal piede esterno dell'argine, o in mancanza, dal ciglio di sponda ... omissis". Le aree in variante non sono interessate*

#### *PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA*

Nel Piano di Bacino stralcio Assetto Idrogeologico adottato nella seduta di Comitato Istituzionale dell'11 novembre 2004 ed entrato in vigore con il D.P.C.M. 6 maggio 2005 "Approvazione del piano di bacino del fiume Arno, stralcio assetto idrogeologico" (GU n. 230 del 3-10-2005) le aree di interesse non risultano essere individuata nella Carta della "Perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante - livello di sintesi.

#### *VULNERABILITÀ IDROGEOLOGICA*

La classificazione per le aree in variante, individuata nella Carta della "Vulnerabilità Idrogeologica", che accompagna il Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Pisa approvato con Del. C.P. 100/06, è riportata nella tabella seguente.

| Codice cartografia | Previsioni     | Vulnerabilità Idrogeologica PTC     |
|--------------------|----------------|-------------------------------------|
| <b>A1</b>          | Vedi tabella 1 | <b>3b media</b>                     |
| <b>B1</b>          | Vedi tabella 1 | <b>In parte 3b media ed 2 bassa</b> |
| <b>C1</b>          | Vedi Tabella 1 | <b>2 bassa</b>                      |
| <b>D1</b>          | Vedi Tabella 1 | <b>3b media</b>                     |
| <b>E1</b>          | Vedi Tabella 1 | <b>2 bassa</b>                      |

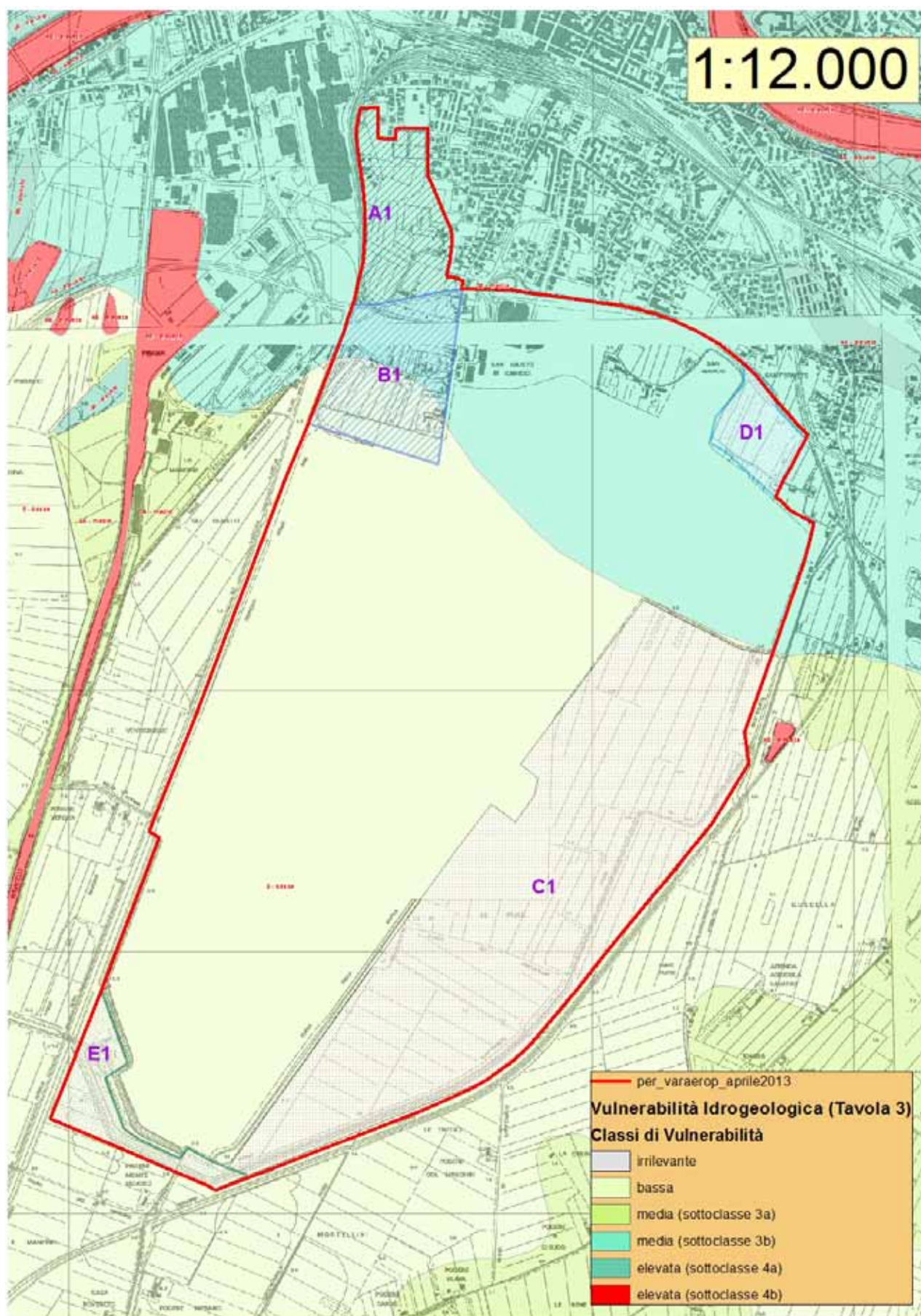


Fig. 11 – “PTC - Carta della “Vulnerabilità Idrogeologica”



*PERICOLOSITÀ DERIVANTE DAL PIANO STRUTTURALE*

Per descrivere le classi di pericolosità (carta della Pericolosità Piano Strutturale (approvato con D.C:C. n.103 in data 02.10.98)) delle aree di variante sono state prodotte due carte di sintesi ed una tabella contenente per ogni area di variante il relativo codice di pericolosità.

| Codice cartografia | Previsioni     | Pericolosità PS          |
|--------------------|----------------|--------------------------|
| <b>A1</b>          | Vedi tabella 1 | <b>Classe 3a</b>         |
| <b>B1</b>          | Vedi tabella 1 | <b>Classe 3a</b>         |
| <b>C1</b>          | Vedi Tabella 1 | <b>Classe 3a-3b-3c-4</b> |
| <b>D1</b>          | Vedi Tabella 1 | <b>Classe 3a</b>         |
| <b>E1</b>          | Vedi Tabella 1 | <b>Classe 3c- 4</b>      |

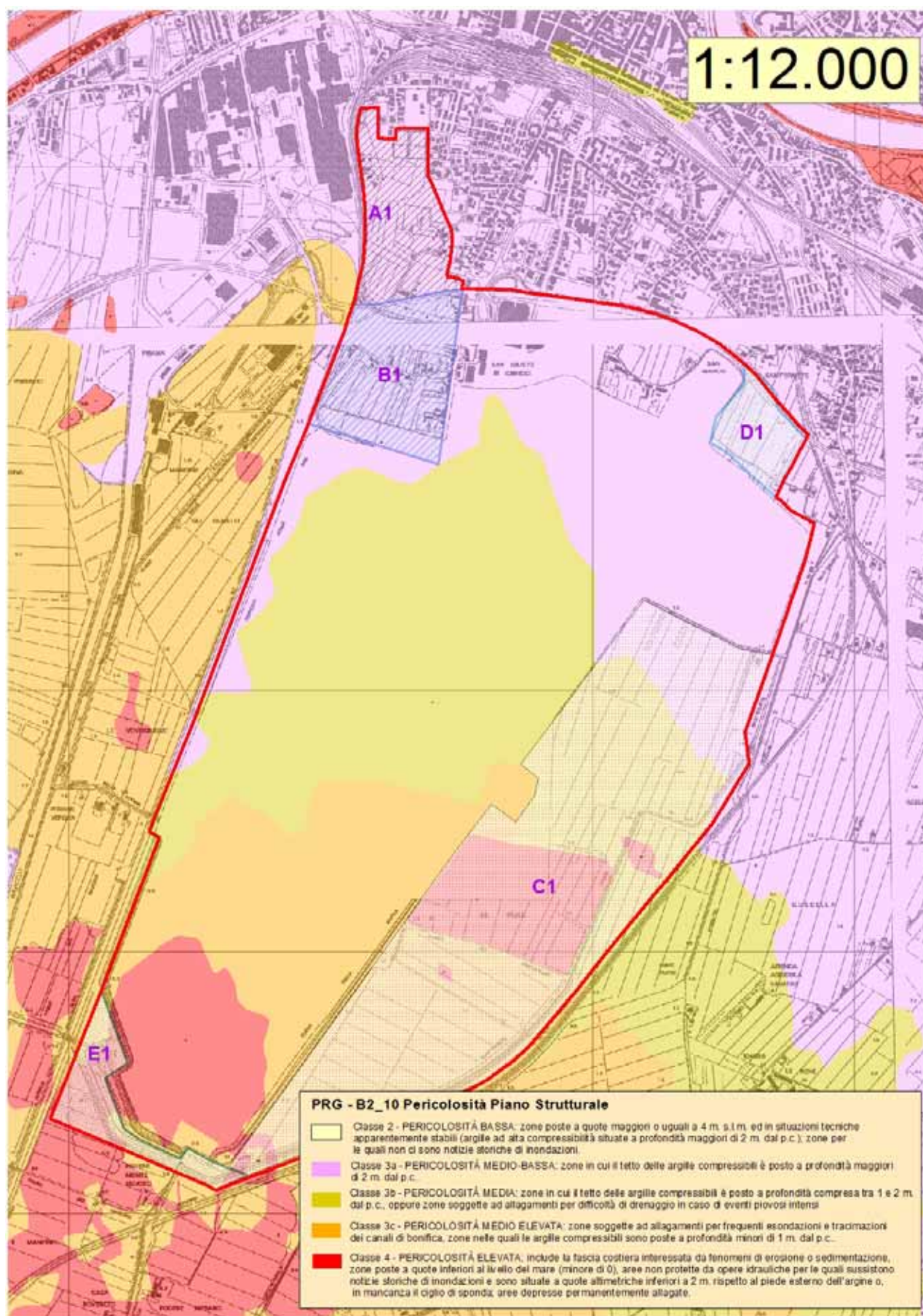


Fig. 12 – Carta “PS - Pericolosità derivata del Piano strutturale”



### 1.1.1.3 CONSIDERAZIONI SULL'ATTIVITÀ SISMICA

Con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (Ord. 20 marzo 2003, n. 3274) (G.U. n. 105 del 8 maggio 2003) sono stati approvati i “Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone” nonché le connesse “Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici”, “Norme tecniche per progetto sismico dei ponti”, “Norme tecniche per il progetto sismico delle opere di fondazione e sostegno dei terreni” facenti parte integrante e sostanziale dell'Ordinanza stessa. Contestualmente alla ordinanza è stata ridisegnata una nuova mappa sismica dei comuni italiani. Le Norme Tecniche indicano 4 valori di accelerazioni ( $a_g/g$ ) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico e le norme progettuali e costruttive da applicare fissando quindi corrispondenti quattro zone sismiche attribuibili al territorio nazionale.

A tal proposito, in prima applicazione, fino alla predisposizione di una nuova mappa di riferimento a scala nazionale che soddisfi integralmente i nuovi criteri di zonazione sismica e relativo aggiornamento a livello regionale, nell'Allegato A della citata Ordinanza è indicata la classificazione sismica dei comuni italiani; sulla base della suddetta classificazione il Comune di Pisa, è classificato in Zona 2 ( $a_g/g = 0.25$ ).

Con [Deliberazione di G.R. del 19.06.2006, n. 431](#), è avvenuta la riclassificazione sismica del territorio regionale. Sulla base della suddetta classificazione il Comune di Pisa, era classificato in Zona 3s. Oggi a seguito antecedentemente era classificato come zona 3s.

A sei anni di distanza dall'entrata in vigore della precedente classificazione è stato effettuato l'aggiornamento della classificazione sismica della Toscana. La Del. GRT n° 878 del 8.10.2012 (pubblicata su BURT Parte Seconda n. 43 del 24.10.2012 Supplemento n. 136) ha approvato questa nuova classificazione. La nuova classificazione sismica è entrata in vigore 60 giorni dopo la pubblicazione sul BURT.

L'aggiornamento, redatto ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3519/2006, si è reso necessario al fine di recepire le novità introdotte dall'entrata in vigore delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008) e di rendere la classificazione sismica (riferimento per la disciplina dei controlli sui progetti depositati presso gli Uffici tecnici regionali preposti), maggiormente aderente all'approccio “sito-dipendente” introdotto dalle vigenti Norme.

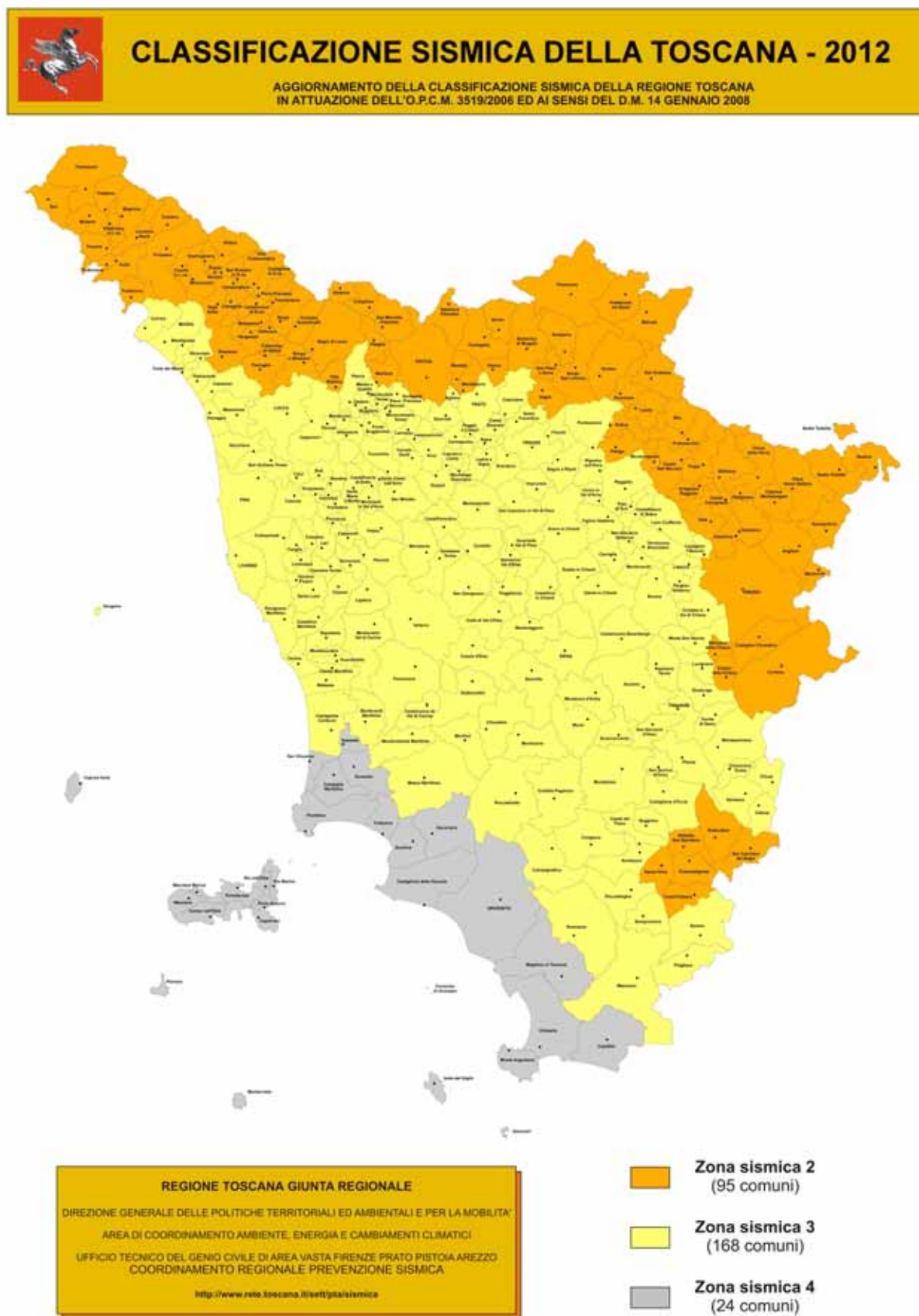
Si riporta a titolo esplicativo l'art. 2 della suddetta normativa.

#### Art. 2

Classificazione delle zone soggette a rischio sismico.

Zone a bassa sismicità

1. La classificazione delle zone soggette a rischio sismico è effettuata con la deliberazione della Giunta regionale ai sensi dell'articolo 96 della l.r.1/2005.
2. Tenuto conto della classificazione effettuata con la deliberazione di cui al comma 1, ai fini della differenziazione della dimensione del campione assoggettato a verifica mediante il metodo a campione ai sensi dell'articolo 105 quater della l.r.1/2005, le zone a bassa sismicità si distinguono in:
  - a. zona 3
  - b. zona 4.
3. La zona 3 è suddivisa in fasce di pericolosità che tengono conto del “valore di accelerazione sismica su suolo rigido e pianeggiante, allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), riferito al periodo di ritorno (TR) di 475anni, corrispondente in termini progettuali ad una vitanominale ( $V_n$ ) di 50 anni e categoria d'uso ( $C_u$ ) pari ad 1(classe d'uso II)”, di seguito indicato “ag”come segue:
  - a. fascia A, contraddistinta da valori di  $a_g > 0.15 g$ ;
  - b. fascia B, contraddistinta da valori di  $0.125 < a_g < 0.15 g$ ;
  - c. fascia C, contraddistinta da valori di  $a_g < 0.125 g$ ;
4. Ai sensi dell'articolo 107, comma 1, lettera d-bis della l.r. 1/2005, il progettista assevera la zona sismica e la fascia di pericolosità del sito, specificandone il valore  $a_g$ .



Con l'entrata in vigore in data 24 ottobre 2005 del D.M. 14 settembre 2005 "Norme Tecniche per le costruzioni" relativamente all'applicazione delle disposizioni di



cui all'art. 104 del DPR 6 giugno 2001 n. 380, l'OPCM 3274/03, all'art. 2 comma 2, ha dato facoltà agli operatori di progettare e costruire con la classificazione sismica previgente, fino all'entrata in vigore delle nuove norme tecniche. Ne deriva, quindi, che le disposizioni di cui al citato art. 104 sono da applicarsi per le opere la cui esecuzione è successiva all'entrata in vigore delle norme tecniche per le costruzioni, ovvero il 24 ottobre 2005.

Al fine di permettere di progettare e costruire con la nuova classificazione sismica è necessario effettuare la caratterizzazione del suolo di fondazione definendone il parametro Vs30 che esprime la velocità media delle onde elastiche di taglio (onde S appunto) nei primi 30 metri di profondità al disotto del piano di fondazione ai sensi del D.M. 14-1-2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni". Pubblicato nella Gazz. Uff. 4 febbraio 2008, n. 29, S.O.

Ai fini della caratterizzazione sismica la velocità di propagazione delle Onde S può essere ottenuta per via indiretta, ovvero ricavandola da indagini geognostiche (ad esempio dal parametro Nspt ricavato da una prova penetrometrica standard) o per via diretta, impiegando indagini di tipo sismico (down-hole, sismica a rifrazione, MASW, cono sismico).

## ANALISI E APPROFONDIMENTI

Di seguito è illustrato il quadro conoscitivo utilizzato per la predisposizione della variante.

### 1.2 ELEMENTI GEOLOGICI E STRUTTURALI

#### 1.2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE ED EVOLUZIONE PALEOGRAFICA DELL'AREA

L'area in oggetto è situata nella pianura di Pisa che rientra nel Bacino Pisano-Versiliese, *Graben* compreso fra le Alpi Apuane e il Monte Pisano ad Est e la Dorsale della Meloria, sommersa dal mare, ad Ovest. Nell'apparente uniformità della zona possono essere in realtà distinte una fascia pedemontana in Versilia formata dai conoidi alluvionali dei torrenti Apuani, una fascia interna leggermente depressa e una fascia costiera formata da accumuli di depositi sabbiosi in forma di dune e dalla spiaggia vera e propria.

Il Bacino Pisano-Versiliese ha avuto il massimo sviluppo nel Pliocene inf-medio; in seguito è entrato a far parte dell'ampia regione emersa che si stendeva verosimilmente fino alla Corsica ed alla Sardegna per poi subire un nuovo notevole sprofondamento nel Pleistocene inf. L'inizio di una notevole ed intensa attività fluviale, riferibile contemporaneamente all'Arno e al ramo del Serchio passante ad Est del Monte Pisano, risale al tardo Pleistocene medio (Interglaciale Mindel-Riss). Al Würm II corrisponde una seconda fase fluviale attribuibile all'Arno e al corso del Serchio ad Est del Monte Pisano, ampiamente rintracciata intorno ai 40 - 60 m di profondità nel sottosuolo superiore della pianura.

Ancora nelle fasi tarde dei Würm II corrispondono i depositi in prevalenza eolici, pedogenizzati, che bordano l'orlo meridionale della pianura (Sabbie di Vicarello) e formano uno sbarramento trasversale (Sabbie dell'isola di Coltano) posto all'interno dei sedimenti litoranei Olocenici della trasgressione versiliana.

Al Würm I sembra corrispondere la prima tracimazione del Serchio verso il mare attraverso la gola di Ripafratta, avvenuta in senso inverso a quello dell'attuale scorrimento delle acque, addirittura prima del Miocene Sup., e che è rimasta inattiva con lo sprofondamento del Bacino Pisano-Versiliese.

Analizzando più in dettaglio l'evoluzione paleogeografica della area oggetto di questo studio vediamo che, nel Miocene superiore questa è interessata da una prima trasgressione marina, testimoniata dai depositi presenti sulle colline omonime: ai conglomerati basali seguono le argille lagunari, quindi sedimenti evaporitici ed infine sabbie, argille e conglomerati. Nel Pliocene inferiore si instaurano condizioni di generale subsidenza che determinano una seconda fase di trasgressione marina e, i depositi oltrepassano i limiti del precedente ciclo arrivando a poggiare direttamente sulle rocce del substrato pre-neogenico. Nel Pliocene medio si verifica una regressione

che porta, nel Pliocene Superiore, alla completa emersione del Valdarno inferiore, dando origine ad un complesso reticolo di valli fluviali, che prefigurano il sistema idrografico Arno - Serchio.

Nel corso del Pleistocene assumono grande importanza le oscillazioni eustatiche del livello del mare, collegate con le vicende dei cicli glaciali: a questa fase appartengono i depositi salmastri e marini del Pleistocene inferiore affioranti sulle Colline Pisane.

Alla fine del Pleistocene inferiore il mare si ritira nuovamente scoprendo una vasta area pianeggiante che, successivamente sarà percorsa dal paleo-sistema idrografico, drenante i bacini dell'Arno e del Serchio; dall'apporto solido di questi corsi d'acqua inizia la costruzione della pianura alluvionale costiera (definito anche "substrato superiore"). Una prima importante fase di sedimentazione è rappresentata dai depositi alluvionali e fluvio-lacustri del Pleistocene medio-superiore affioranti, in forme terrazzate, sulle Cerbaie e sui margini delle Colline Pisane. In conclusione, in questa area, si sono succedute fasi in cui prevaleva una sedimentazione marina o lagunare-salmastri, con forti spessori di sabbie, limi ed argille, e fasi continentali nelle quali l'apporto di depositi più grossolani da parte dei corsi d'acqua era talvolta predominante. Nelle fasi più antiche di alluvionamento si sono sviluppati i depositi ghiaioso-ciottolosi del Pleistocene idrografico Arno-Serchio, distribuiti prevalentemente in ampi alvei di tipo fiumara; nelle fasi più recenti, durante le quali l'Arno e il Serchio si sono resi indipendenti, il trasporto solido diviene prevalentemente sabbioso-limoso, da parte di corsi d'acqua meandriformi, con granulometrie maggiori nei depositi di canale rispetto a quelli di esondazione. Alla progradazione e all'aggradazione della pianura hanno contribuito i depositi di spiaggia e quelli dei lidi e delle dune litoranei. Gli spostamenti diacroni della linea di riva sono quindi segnati al di sotto delle coperture limo-argillose di origine alluvionale da allineamenti di depositi sabbiosi, collegati a quelli che affiorano attualmente lungo la costa e sul margine meridionale della pianura.

L'alimentazione dei depositi di spiaggia è data soprattutto dagli apporti detritici dell'Arno e del Serchio con un piccolo contributo da parte dei fiumi Apuani.

Nella Pianura Pisana affiorano dunque depositi del Pleistocene superiore e dell'Olocene: i primi sono rappresentati dai depositi residui scampati all'erosione del Würm III, i secondi hanno uno spessore massimo di 30 metri e sono rappresentati da:

- ✓ Lidi e dune sabbiose;
- ✓ Sedimenti di esondazione fluviale depositi in vicinanza degli attuali corsi dell'Arno e del Serchio (sabbie argillose di Le Rene);
- ✓ Limi e argille alluvionali che rappresentano la frazione fine dei depositi di esondazione fluviale;
- ✓ Limi, argille, torbe palustri e depositi di colmate.

In estrema sintesi, facendo riferimento alla recente pubblicazione "La torre salvata – una storia per immagini" a cura di Raffaello Martelletti, Paolo Heiniger, Carlo Viggiani si può considerare che quasi tutta la pianura pisana, sia costituita da depositi geologicamente recenti (Pleistocene-Olocene) di ambiente lagunare e palustre; si tratta di limi, argille e sabbie fini, intercalati a sabbie eoliche costituenti antiche dune costiere.

Procedendo dal piano di campagna verso il basso si incontrano generalmente tre "Complessi" aventi caratteri geotecnicamente distinti, e cioè:

Complesso A: strati misti superiori di limi, argille e sabbie di vario spessore ed irregolarmente disposti, di colore prevalentemente giallastro, per una potenza complessiva generalmente di circa 10 m. All'estremo inferiore di questo complesso, a contatto con le sottostanti argille, si incontra generalmente uno strato di sabbie fini mediamente addensate di colore grigio, dello spessore di circa due metri.

Complesso B: costituito prevalentemente da argille, si può rinvenire generalmente fino alla profondità di 40 m circa al di sotto del piano di campagna.

Al suo interno si distinguono:



- o le argille superiori, denominate localmente "pancone", di consistenza da ridotta a media, da leggermente sovraconsolidate a normalmente consolidate;
- o le argille intermedie, sovraconsolidate di elevata consistenza;
- o le sabbie intermedie;
- o le argille inferiori, normalmente consolidate di consistenza medio-alta.

Complesso C: sabbie inferiori, che possono giungere fino alla profondità di circa 70 m. dal piano di campagna.

Generalmente la superficie di separazione tra le sabbie superiori e le argille del pancone è disposta secondo un piano orizzontale con scarti massimi di pochi centimetri.

La pianura di Pisa 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. La subsidenza di quest'area, collegata al sollevamento generale dei rilievi montuosi formatisi 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.

Sulla base dei dati disponibili, il sottosuolo della pianura di Pisa può essere schematicamente suddiviso in tre parti.

#### *IL SUBSTRATO PROFONDO*

Comprende le formazioni litoidi della Serie Toscana, le stesse che affiorano sui Monti Pisani a Nord di Pisa e che nella pianura sono state ribassate dall'azione delle faglie dirette. Tra le rocce della Serie Toscana sembrano essere predominanti le formazioni carbonatiche. Inoltre sono state raggiunte da un sondaggio profondo anche le formazioni del complesso filladico quarzítico del Verrucano (Ghelardoni et al., 1968).

Ad Ovest di Pisa fanno parte del substrato profondo anche le formazioni dell'"Alloctono ligure" che è stato individuato in vari sondaggi profondi. I materiali che costituiscono il substrato profondo sono stati individuati grazie anche ad una risposta diversa alle indagini geofisiche rispetto ai substrati intermedio e superiore. La profondità del suo tetto varia da un minimo di 500 m ai piedi dei Monti Pisani fino a circa 2000 m lungo la costa. Nella zona di Pisa le isobate del tetto di questi terreni si trovano alla profondità di circa 1000 m.

#### *IL SUBSTRATO INTERMEDIO*

E' costituito da sedimenti "neoautoctoni" la cui deposizione ha un inizio variabile da zona a zona, ma non è mai anteriore al Miocene superiore. Si tratta di sedimenti depositi in presenza di una subsidenza di origine tettonica. La successione inizia alla base con sabbie e conglomerati a cui seguono argille lagunari sormontate da gessi variamente alternati a strati argillosi la cui deposizione viene fatta coincidere con la interruzione delle comunicazioni tra il Mediterraneo e l'Oceano Atlantico.

Al di sopra dei gessi si ritrovano sabbie, argille e conglomerati che rappresentano la sedimentazione di un bacino senza comunicazione con i mari aperti.

A questi è seguita la deposizione di argille azzurre di facies francamente marina che sono state invece deposte in un ambiente di mare più profondo cui seguono alternanze di argille azzurre e sabbie gialle che denotano l'alternarsi di ambienti marini più o meno profondi.

Al di sopra si ritrovano Sabbie ed Argille contenenti al loro interno fossili di Arctica Islandica che ne attribuiscono l'età al Pleistocene a cui segue la sedimentazione delle sabbie di Nugola Vecchia che rappresentano un episodio di sedimentazione di mare basso ed indicano quindi un fenomeno di regressione marina avvenuto al termine del Pleistocene inferiore. E' da notare che questa successione può essere osservata in superficie sulle Colline Pisane dove questi terreni formano una monoclinale che si immerge al di sotto della pianura di Pisa (Fancelli et al., 1986).

## IL SUBSTRATO SUPERIORE

è formato da sedimenti posteriori al Pleistocene inferiore che si sono 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 più o meno fine dei clasti.

Al substrato superiore appartiene la Formazione dei Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina che sono presenti uniformemente nel sottosuolo Pisano e si trovano a circa 50 metri di profondità presso Cascina fino a raggiungere i 145 metri nella zona di Pisa. I conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina, il cui spessore varia tra 4 e 10 metri, sono costituiti da ciottoli delle formazioni affioranti sui Monti Pisani e sono sede di un importante acquifero artesiani attualmente molto sfruttato. Si ritiene quindi che l'apporto dei clasti più grossolani di questi conglomerati siano dovuti al trasporto del Serchio che scorreva impetuoso a partire dai rilievi delle Alpi Apuane, mentre le acque dell'Arno avrebbero fornito un contributo clastico più fine in quanto dotate di minore energia.

Al di sopra della formazione precedentemente descritta si trova un livello di "Limi fluvio-palustri del sottosuolo" corrispondenti ad una fase di più limitata attività fluviale come appare dalla diminuzione drastica delle dimensioni dei clasti rispetto a quelle della formazione sulla quale poggiano (Della Rocca et al. 1987). Questa diminuzione del trasporto è probabilmente legata ad un cambiamento del clima in senso più arido al quale sarebbe poi dovuta la deposizione nel Pleistocene superiore delle dune delle sabbie dell'Isola di Coltano al di sopra dei "Limi fluvio-palustri del sottosuolo". La deposizione di queste sabbie indica un fenomeno di ingressione marina seguito da un sollevamento eustatico con formazione di dune di origine eolica. A tali sabbie segue la deposizione dei "Limi fluvio-palustri di superficie" che sono legati a fenomeni di esondazioni dell'Arno e dei corsi d'acqua minori che, provenendo dai monti Pisani, spesso si impaludavano nella pianura fino ad epoche storiche.

### 1.2.2 ASPETTI GEOLOGICI GENERALI

Per la rappresentazione geologica dell'area è stata presa a riferimento la "Carta degli elementi naturalistici e storici della Pianura di Pisa e dei Rilievi Contermini - scala 1: 50.000" (CNR - Centro di Studi per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino - Pisa - Mazzanti et alii- Roma, 1994). Le aree oggetto di intervento interessano prevalentemente le formazioni geologiche denominate:

- "Depositi alluvionali prevalentemente sabbiosi e limosi (Olocene) [25]", **colore verde scuro**
- "Depositi alluvionali prevalentemente argillosi, torbe palustri e depositi di colmata (Olocene) [26]" **colore verde chiaro**

Inoltre è stata presa in esame la "Carta geologica" che accompagna il quadro conoscitivo di supporto alla predisposizione del Piano Strutturale dove sono cartografati e distinti i depositi affioranti in un ampio intorno della zona oggetto di studio per un ambito areale geologicamente significativo.

| Codice cartografia | Previsioni     |              |
|--------------------|----------------|--------------|
| <b>A1</b>          | Vedi tabella 1 | <b>25</b>    |
| <b>B1</b>          | Vedi tabella 1 | <b>25-26</b> |
| <b>C1</b>          | Vedi Tabella 1 | <b>26</b>    |
| <b>D1</b>          | Vedi Tabella 1 | <b>25</b>    |
| <b>E1</b>          | Vedi Tabella 1 | <b>26</b>    |



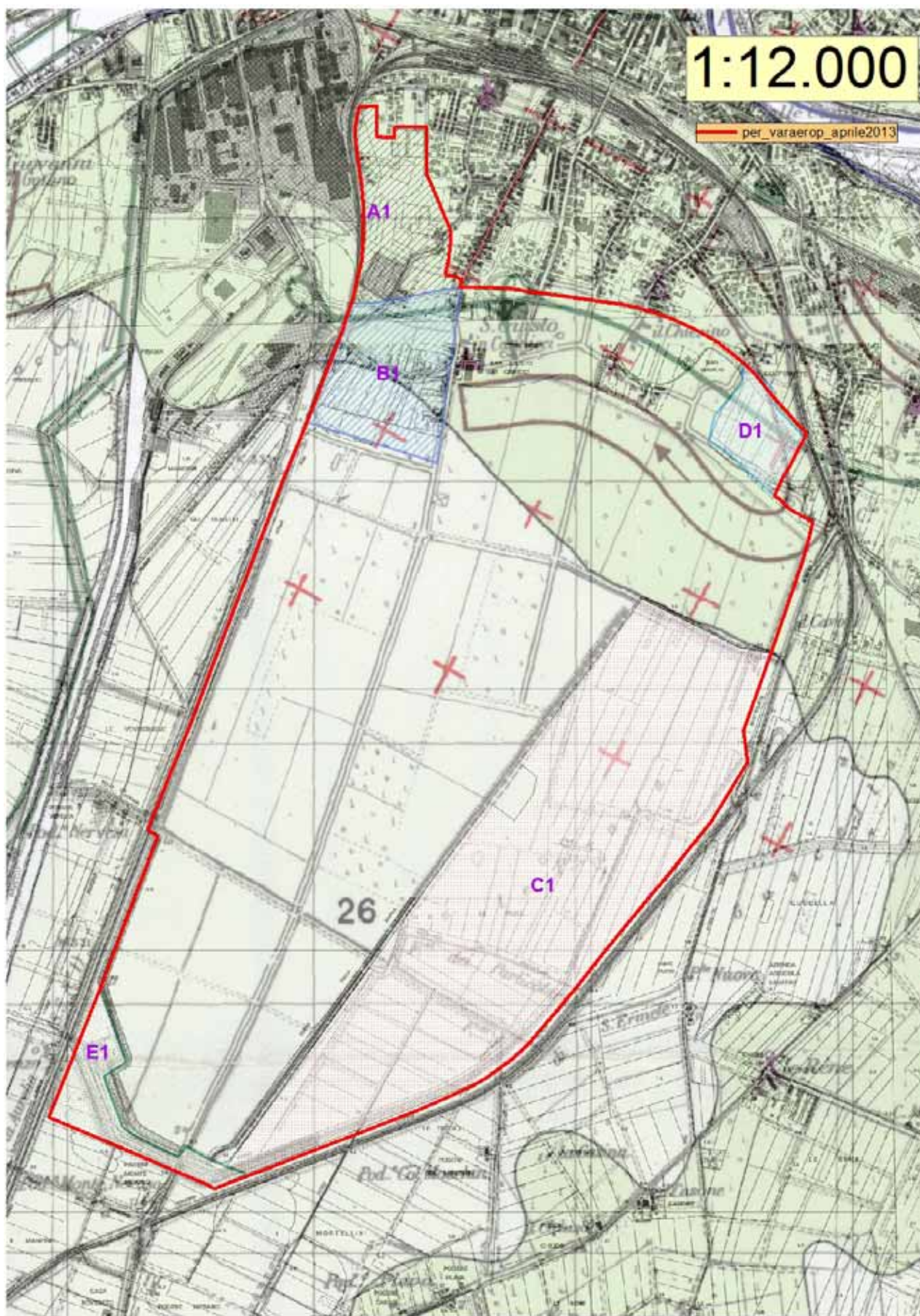


Fig. 13 – “Carta degli elementi naturalistici e storici della Pianura di Pisa e dei Rilievi Contermini”

#### 1.2.2.1 ELEMENTI RAPPRESENTATI NELLA CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA

Inoltre è stata presa in esame la "Carta geologica" che accompagna il quadro conoscitivo di supporto alla predisposizione del Piano Strutturale dove sono cartografati e distinti i depositi affioranti in un ampio intorno della zona oggetto di studio per un ambito areale geologicamente significativo. L'area oggetto dell'intervento risulta classificata in quota parte come DEPOSITI ALLUVIONALI PREVALENTEMENTE ARGILLOSI, TORBE PALUSTRI E DEPOSITI DI COLMATA (OLOCENE) - (AT) ed in quota parte come DEPOSITI ALLUVIONALI PREVALENTEMENTE LIMOSI E SABBIOSI CON INTERCALAZIONI ARGILLOSE (OLOCENE) - (LA). Di seguito è riportato lo stralcio relativo alla carta geologica e geomorfologica del Piano strutturale e la descrizione degli elementi rappresentati.

Nel territorio comunale di Pisa, pressoché pianeggiante, affiorano terreni di età relativamente recente datati dal Pleistocene superiore all'Olocene che proseguono in profondità per circa 30 metri.

L'attuale situazione geologica e stratigrafica degli strati superficiali di terreno della pianura di Pisa è principalmente il risultato della attività di trasporto ed esondazione dell'Arno nonché delle variazioni del suo corso fluviale ed è legata agli effetti della presenza di vaste aree paludose in rapporto alle variazioni eustatiche del livello marino e dei variabili equilibri della dinamica costiera. Si tratta quindi sostanzialmente di sedimenti fluvio-palustri localizzati nella parte orientale del comune di Pisa, separati dal mare aperto da depositi eolico transizionali dei lidi e dune litoranee più ad ovest.

Nella carta geologica sono rappresentati i litotipi significativi per caratteristiche litologiche e sviluppo areale. Relativamente a tutti i punti di cui si disponeva una indagine geognostica è stata analizzata la stratigrafia dei primi 5 m di terreno ed è stata determinata la litologia prevalente. La carta è stata ottenuta dalla sintesi di tutti i dati.

#### *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 l'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.

#### *SEDIMENTI LIMO-ARGILLOSI E SABBIOSI DELLE AREE GOLENALI (ATTUALE) - (A).*

I sedimenti presenti nelle aree golenali sono depositi dai corsi d'acqua attuali negli alvei e nelle aree laterali raggiunte dalle piene ordinarie. Per quanto riguarda l'Arno si tratta di sedimenti a granulometria variabile da limo-argillosa a sabbiosa in corrispondenza dell'energia delle acque che li hanno depositi.



#### *DEPOSITI SABBIOSI DEI LIDI E DUNE LITORANEE (OLOCENE) - (D).*

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 in 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 al di sopra del l.d.m.

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.

#### *SEDIMENTI INTERDUNALI COSTITUITI DA LIMI E SABBIE LIMOSE TALVOLTA CON DEPOSITI SUPERFICIALI COSTITUITI DA ARGILLE ORGANICHE E TORBE (OLOCENE) - (I).*

I sedimenti interdunali presentano un andamento parallelo ai lidi e sono stati deposti nelle depressioni comprese tra i lidi e le dune. Anche questi terreni, come quelli precedentemente descritti, si sono originati in prossimità di linee costiere dei secoli scorsi e di conseguenza sono costituiti da depositi sabbiosi in particolare arricchiti della frazione più fine.

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 ALLUVIONALI PREVALENTEMENTE ARGILLOSI, TORBE PALUSTRI E DEPOSITI DI COLMATA (OLOCENE) - (AT).*

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.

#### *DEPOSITI ALLUVIONALI PREVALENTEMENTE LIMOSI E SABBIOSI CON INTERCALAZIONI ARGILLOSE (OLOCENE) - (LA).*

Questi depositi hanno una granulometria mediamente più grossolana di quella dei terreni sopra descritti. Si tratta infatti di depositi prevalentemente limosi e argillosi al cui interno sono più o meno frequenti intercalazioni sabbiose.

Le ripetute esondazioni verificatesi nel passato nella pianura di Pisa, depositavano la frazione limosa meno fine prevalentemente nelle aree poste in prossimità del corso fluviale dell'Arno. I limi si ritrovano infatti nella zona di Barbaricina, della Vettola, di S. Giovanni al Gatano, ed inoltre nelle zone di Pisa sud,



di S. Giusto, di S. Ermete, e di Ospedaletto. Questi depositi si trovano anche in località Le Rene e rappresentano anche in questa località un sedimento di esondazione fluviale che potrebbe essere stato deposto da un antico corso del fiume oggi abbandonato.

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 ALLUVIONALI PREVALENTEMENTE SABBIOSI (OLOCENE) - (SA).*

La distribuzione di quest'itinerari 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 alcune 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.

*CALCARENITI E SABBIE DELL'ISOLA DI COLTANO (PLEISTOCENE SUPERIORE) - (C).*

Questi terreni sabbiosi di composizione prevalentemente quarzosa affiorano, oltre che a Coltano, anche più a nord nella zona di Castagnolo e in un'area molto limitata nella zona di Montacchiello.

Le aree in cui sono localizzati questi terreni hanno mantenuto una morfologia più elevata in quanto residui eolico-dunali raggiungendo dislivelli massimi fino a 8-9 metri sul livello del mare.

Come età si tratta di depositi relativi al Pleistocene superiore da considerare depositi durante il Wurm II in quanto sono stati trovati reperti Musteriani (Menchelli 1984).

*AREE PALUSTRI BONIFICATE.*

Le aree paludose ancora in tempi storici nel Comune di Pisa sono caratterizzate dalla presenza di argille plastiche ed organiche superficiali, talvolta con frazioni limose con scadenti proprietà meccaniche.

Nella zona sud del comune di Pisa le ex aree palustri principali sono quelle di Stagno a sud dell'Isola di Coltano e del Palude Maggiore a nord, ancora localizzabili nelle carte del catasto Leopoldino del 1825 le quali sono state prosciugate in tempi molto recenti.

Una diramazione del Palude Maggiore è rappresentata dal Palude della Ballerina in prossimità delle dune sabbiose di Castagnolo.

A nord e ovest di Pisa esisteva una zona paludosa più antica che si estendeva dalla città fino alle dune di San Rossore, detta la palude Pisana o anche Paludozzeri non ancora prosciugata agli inizi del 1300. Un'altra palude era localizzata verso il 1000 presso Cisanello.

Queste zone acquitrinose costituivano i residui di una depressione occupata da acque stagnanti che in precedenza risultava di estensione molto maggiore.

*ALVEI FLUVIALI ABBANDONATI.*

Sono stati distinti nella carta geologica gli alvei tagliati in epoca storica, dagli alvei abbandonati in tempi più antichi riconoscibili da foto aeree o da immagini da satellite. Tra i tagli avvenuti in epoca storica si ritrovano:

i tagli di meandro avvenuti nel 1338, della Vettola e di Cascine Nuove. Quest'ultimo è bene identificabile grazie anche 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 verificatisi in seguito al taglio del meandro.

#### PALEOALVEI SEPOLTI RILEVATI CON IMMAGINI DA SATELLITE.

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.

#### ANTICHE LINEE DI COSTA E RELATIVE DATAZIONI.

E' stato possibile ricostruire l'evoluzione della linea di costa dall'VIII-V secolo A.C. fino al 1830 per mezzo della localizzazione dei siti storici o archeologici in cui sono stati trovati manufatti per i quali è stato possibile effettuare una datazione (Mazzanti & Pasquinucci, 1983).

La linea costiera nell'VIII-V secolo A.C. si trovava lungo il bordo occidentale del cordone sabbioso di San Guido-La Bigattiera sud dell'Arno (Ceccarelli Lemut et al., 1994) e lungo il bordo occidentale del Cotone delle Cascine a nord dell'Arno. Nei secoli successivi, fino al 1830, è andata progressivamente accrescendosi come è osservabile nelle ricostruzioni riportate nella carta geologica.

#### 1.2.2.2 CONSIDERAZIONI SUGLI ELEMENTI GEOLOGICI E STRUTTURALI

Il rilevamento geologico condotto non ha portato ad un sostanziale mutamento del quadro conoscitivo iniziale confermando la presenza esclusiva di formazioni oloceniche. Da un punto di vista sismo tettonico non si hanno nuovi elementi, in quanto trattasi di studi a livello di dettaglio e non regionale, salvo rilevare l'attivazione periodica negli ultimi anni delle faglie presenti in area sottomarina tra Livorno e Viareggio che hanno causato terremoti superficiali con magnitudo massima intorno a 4 (fonte Servizio Sismico Regionale).

I terreni interessati alla variante rientrano in due tipologie:

- ❖ **at** = depositi alluvionali prevalentemente argillosi colore verde chiaro
- ❖ **la** = depositi alluvionali prevalentemente limosi e sabbiosi colore rosa

| Codice cartografia | Intervento     | Geologica |
|--------------------|----------------|-----------|
| <b>A1</b>          | Vedi tabella 1 | <b>at</b> |
| <b>B1</b>          | Vedi tabella 1 | <b>at</b> |
| <b>C1</b>          | Vedi Tabella 1 | <b>at</b> |
| <b>D1</b>          | Vedi Tabella 1 | <b>la</b> |
| <b>E1</b>          | Vedi Tabella 1 | <b>at</b> |

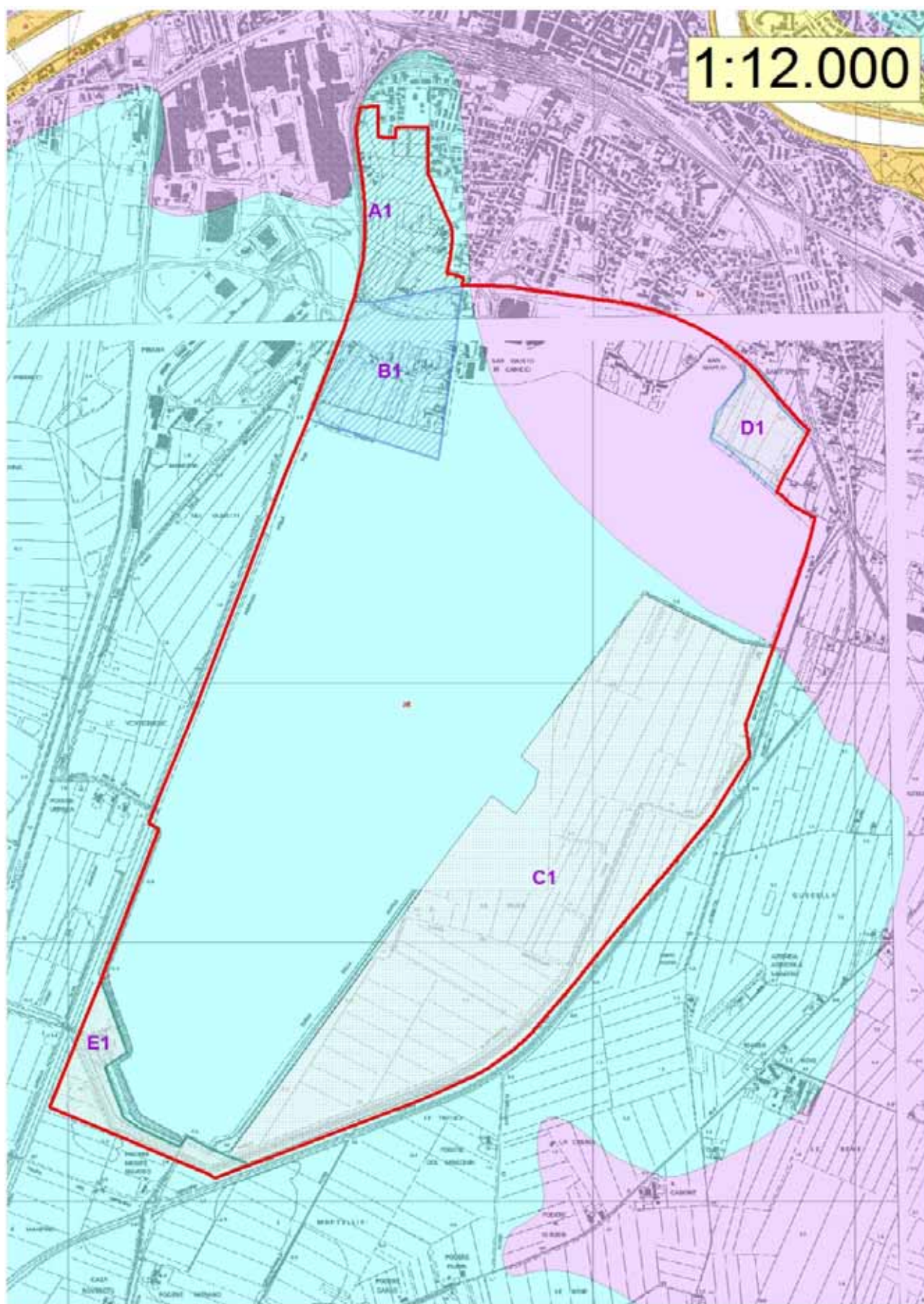


Fig. 14 – “CartaGeologicaPianoStrutturale1998”



#### 1.2.2.3 *ELEMENTI LITOLOGICO-TECNICI*

Per determinare le caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi presenti nel sottosuolo, riguardo alle aree oggetto di variante, si è fatto riferimento alla carta litotecnica che accompagna il quadro conoscitivo di supporto al Piano Strutturale, le aree oggetto di variante sono state ulteriormente verificate con i dati acquisiti.

### 1.2.3 CARTA LITOTECNICA

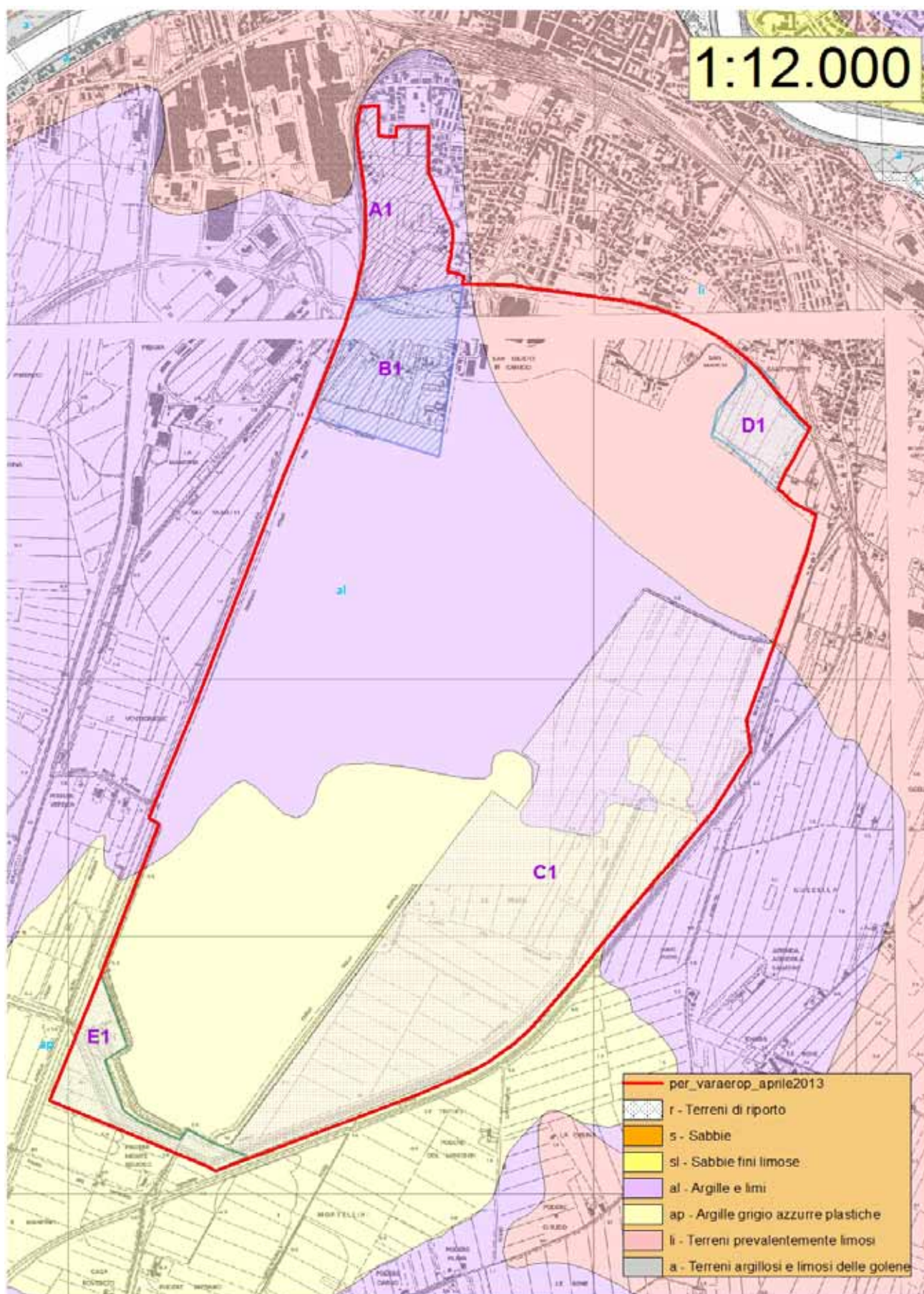


Fig. 15 – “PS Carta Litotecnica”

| Codice cartografia | Intervento     | Carta Litotecnica |
|--------------------|----------------|-------------------|
| <b>A1</b>          | Vedi tabella 1 | <b>al</b>         |
| <b>B1</b>          | Vedi tabella 1 | <b>al</b>         |
| <b>C1</b>          | Vedi Tabella 1 | <b>ap-al</b>      |
| <b>D1</b>          | Vedi Tabella 1 | <b>li</b>         |
| <b>E1</b>          | Vedi Tabella 1 | <b>ap</b>         |

L'elaborazione della carta litotecnica, in fase di predisposizione del PS è stata preceduta da una raccolta di dati bibliografici e di informazioni relative ad indagini geognostiche di dettaglio effettuate nel comune di Pisa a livello di progettazione edilizia. Le indagini prese in esame comprendono sia prove in situ, come sondaggi geognostici a carotaggio continuo, prove penetrometriche statiche e dinamiche, sia analisi di laboratorio come prove edometriche, prove triassiali o tagli rapidi non drenati. La ubicazione di queste indagini è osservabile nella Carta dei sondaggi e dei dati di base.

Dalla analisi di tutti i dati a nostra disposizione è stato possibile effettuare una ricostruzione della porzione di sottosuolo della pianura pisana interessante ai fini della progettazione edilizia, sia dal punto vista stratigrafico che geotecnico. Naturalmente il grado di dettaglio di tale ricostruzione è legato alla frequenza areale dei dati geognostici a nostra disposizione la quale è più alta, ovviamente, dove il territorio è più urbanizzato.

L'analisi dei dati geognostici ha permesso un ordinamento dei litotipi presenti sulla carta geologica, sulla base delle caratteristiche litotecniche e delle proprietà fisicomeccaniche più importanti, quali peso di volume, coesione, angolo di attrito interno, densità relativa, e coefficiente di compressibilità volumetrica. Sono inoltre stati riportati, per i vari terreni, i valori della resistenza alla punta del penetrometro statico molto indicativi delle proprietà meccaniche dei terreni, anche perché la prova statica C.P.T. è la più diffusa tra quelle effettuate nel territorio pisano.

In base ai criteri sopra specificati, dal punto di vista litotecnico, sono stati riconosciuti i terreni descritti di seguito.

#### *TERRENI DI RIPORTO (R).*

I terreni di riporto sono stati rappresentati sulla carta litotecnica nelle zone in cui il loro spessore, variabile tra 1,5 e 5-6 m, presenta una certa rilevanza.

Si ritrovano notevoli quantità di terreni di riporto soprattutto lungo il corso dell'Arno esternamente agli argini. Nella zona interna del meandro di Cisanello gli spessori del terreno vegetale e di riporto raggiungono anche i 7 metri, e la loro deposizione si è verificata in seguito allo scarico e all'accumulo di materiale scavato durante la costruzione degli argini e della golenia. Il materiale di riporto cartografato all'interno della golenia della Cella rappresenta un accumulo di materiali inerti costituiti da elementi litoidi e laterizi in presenza di materiale più o meno fine.

Nella zona del centro storico lo spessore del materiale di riporto, anch'esso costituito da elementi litoidi e laterizi in matrice più fine, è legato all'accumulo di materiale edilizio stratificato nelle varie epoche storiche.

In generale si tratta di terreni con caratteristiche geotecniche molto variabili in relazione al tipo di materiale deposto, quindi la coesione può variare molto in relazione al contenuto locale di argilla o limo e l'angolo di attrito interno al tenore di materiale sabbioso o ghiaioso grossolano. Sono terreni eterogenei rimaneggiati che in generale non offrono garanzie della capacità portante o dei cedimenti in modo tale da indicare come necessaria la loro asportazione in caso di costruzione di manufatti o di posizionare il piano di imposta delle fondazioni al di sotto di essi.

#### *SABBIE (S).*

Sono state cartografate lungo la fascia costiera posta nella parte occidentale del territorio comunale di Pisa in corrispondenza dei lidi e le dune litoranee, nella zona di Coltano, di Castagnolo e in un'area molto limitata in prossimità di Montacchiello.



Questi terreni, sono costituiti prevalentemente da sabbie a composizione principalmente quarzosa; talvolta sono presenti al loro interno delle intercalazioni di sabbie limose con Lamellibranchi.

Le sabbie sono dotate di una coesione nulla, mentre l'angolo di attrito interno, in base a dati di prove penetrometriche statiche, è risultato variabile tra un minimo di 28° e massimi intorno a 43°. Nei primi 10 metri di profondità la resistenza alla punta (Rp) del penetrometro statico è generalmente maggiore di 45 km/cm<sup>2</sup> con punte massime intorno a 250 km/cm<sup>2</sup>. Il peso di volume varia tra minimi intorno a 1,80 km/dmc per le sabbie con contenuto limoso, fino a 2,08 per le sabbie pure più addensate. La densità relativa (Dr) varia tra minimi intorno al 52% e massimi che in rari casi possono raggiungere il 100%. Il colore di questi terreni si presenta marrone chiaro-nocciola negli strati più superficiali e grigio in quelli più profondi.

In questa categoria litotecnica sono comprese anche le sabbie superficialmente sciolte delle spiagge attuali. Queste ultime sono caratterizzate da una granulometria da media a medio fine e dal fatto che le dimensioni dei granuli aumentano procedendo verso la linea di battigia e verso le zone di spiaggia alta di accumulo eolico. Questi sedimenti mostrano inoltre una classazione in senso verticale, sono notevolmente sciolti in superficie mentre in profondità si presentano mediamente addensati.

#### *SABBIE FINI LIMOSE (SL).*

Questi terreni si ritrovano lungo la fascia costiera del territorio pisano in prossimità delle depressioni comprese tra i lidi e le dune, in alcuni tratti localizzati lungo il corso fluviale dell'Arno e nella zona di Ospedaletto.

Si tratta di sabbie fini spesso limose talvolta con intercalazioni limose o argillose. Per quanto riguarda le sabbie, l'angolo di attrito interno varia generalmente tra 25° e 33°, mentre la coesione c è nulla. La densità relativa Dr è compresa tra 10 e 50 % e il coefficiente di compressibilità volumetrica mv varia tra circa 0,013 e 0,040 kg/cm<sup>2</sup>.

#### *ARGILLE E LIMI (AL).*

Affiorano in vaste aree della pianura alluvionale a sia a nord che a sud della città di Pisa. Si ritrovano infatti nella zona di Campaldo, delle Lenze, di Cisanello e più a sud nella zone dell'aeroporto, dei Campacci, di Montacchiello ed ad est della zona artigianale di Ospedaletto.

Questi terreni sono costituiti da limi ed argille di colore bruno-giallastro. La componente limosa è generalmente preponderante su quella argillosa. La Rp del penetrometro statico varia generalmente tra 9 e 15 kg/cm<sup>2</sup>. La coesione è compresa tra 0,4 e 0,7 kg/cm<sup>2</sup>, mentre il coefficiente di compressibilità volumetrica mv assume valori tra 0,021 e 0,034 cm<sup>2</sup>/kg con valori medi intorno a 0,25 cm<sup>2</sup>/t. In base a prove edometriche effettuate su campioni indisturbati prelevati negli orizzonti argillosi e limoargillosi, è risultato che gli strati superficiali di questi terreni sono generalmente preconsolidati. Presentano inoltre valori generalmente elevati dell'indice di consistenza e valori del peso di volume compresi tra 1,7 e 1,9 kg/cm<sup>2</sup>.

#### *ARGILLE GRIGIO AZZURRE PLASTICHE (AP).*

Sono state cartografate nelle zone una volta paludose localizzate a Nord di Coltano, a Stagno ed inoltre nella zona della Ballerina, del Gracitone e, più a Nord, nelle vicinanze di Campaldo.

Queste argille, caratterizzate da elevate plasticità ed umidità naturale, contengono al loro interno lenti sabbiose più o meno spesse. Sono normalmente consolidate e quindi più suscettibili ai cedimenti, in quanto, dai dati di prove edometriche su campioni indisturbati, la compressibilità è risultata molto elevata. Il coefficiente di compressibilità volumetrica mv è compreso tra 0,026 e 0,100 cm<sup>2</sup>/kg i cui valori più frequenti sono di circa 0,50 cm<sup>2</sup>/kg. Spesso all'interno di queste argille si trovano degli strati torbosi la cui frequenza e spessore ne influenzano negativamente il comportamento meccanico. Le argille grigie plastiche presentano valori dell'indice di consistenza e del peso di volume (variabile tra 1,6 e 1,7 kg/cm<sup>2</sup>) marcatamente più bassi dei terreni sovrastanti. La Rp assume valori generalmente poco elevati compresi tra 1 e 9 kg/cm<sup>2</sup>. Anche la coesione è bassa ed è variabile tra 0,1 e 0,35 kg/cm<sup>2</sup>.

#### *TERRENI PREVALEMENTEMENTE LIMOSI (LI).*

Si ritrovano prevalentemente in fasce adiacenti al corso attuale dell'Arno, come nella zona di Barbaricina, della Vettola, Pisa sud, S. Giusto, S. Ermete, Ospedaletto, e, più a sud, presso Le Rene.

Si tratta di terreni prevalentemente limosi di colore nocciola con intercalazioni argillose e talvolta sabbiose. Di conseguenza i parametri geotecnici di questi terreni sono variabili in relazione al tenore di limo, argilla o sabbia. In via indicativa per quanto riguarda la frazione limo-argillosa è stato riscontrato che la  $R_p$  del penetrometro statico varia generalmente intorno a valori compresi tra 11 e 20 kg/cmq. La coesione varia tra 0.40 e 0.85 kg/cmq, mentre il coefficiente di compressibilità volumetrica  $m_v$  è compreso tra 12 e 25 cmq/t. L'angolo di attrito interno si mantiene attorno a valori generalmente bassi.

#### *TERRENI ARGILLOSI E LIMOSI DELLE AREE GOLENALI (A).*

Si tratta di sedimenti limo argillosi e sabbiosi depositi principalmente nelle aree comprese tra gli argini dei fiumi in tempi anche molto recenti durante le fasi di piena dei corsi d'acqua. Si tratta comunque di terreni caratterizzati da proprietà meccaniche generalmente scadenti ove la composizione argillosa prevale su quella sabbiosa.

#### *1.2.4 CARTA DELLA PROFONDITÀ DEL TETTO DELLE ARGILLE COMPRESSIBILI*

I problemi di instabilità di un territorio di pianura, quale quello pisano, sono legati principalmente alle scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni eventualmente interessati dalla costruzione di manufatti. Da questo punto di vista le aree a pericolosità più alta sono quelle in cui, a causa della elevata compressibilità dei terreni, possono verificarsi fenomeni di consolidazione di entità non trascurabile con conseguenti cedimenti e cedimenti differenziali. Tali fenomeni possono aver luogo in seguito alla costruzione di manufatti, di prelievi idrici dalle falde più superficiali o anche in conseguenza delle azioni sismiche.

Dalla analisi di tutti i dati acquisiti dai sondaggi geognostici e dalle prove geotecniche in situ o in laboratorio eseguiti nel comune di Pisa, è stato possibile attraverso delle correlazioni, effettuare una ricostruzione del sottosuolo a fini geotecnici, ossia di quella porzione di terreno interessata dai carichi trasmessi dalle strutture.

In particolare sono state riconosciute le zone in cui affiorano i terreni con caratteristiche geotecniche più scadenti dal punto di vista della suscettibilità ai cedimenti e le aree in cui tali terreni sono prossimi alla superficie e di conseguenza possono andare ad interferire negativamente con le strutture di fondazione.

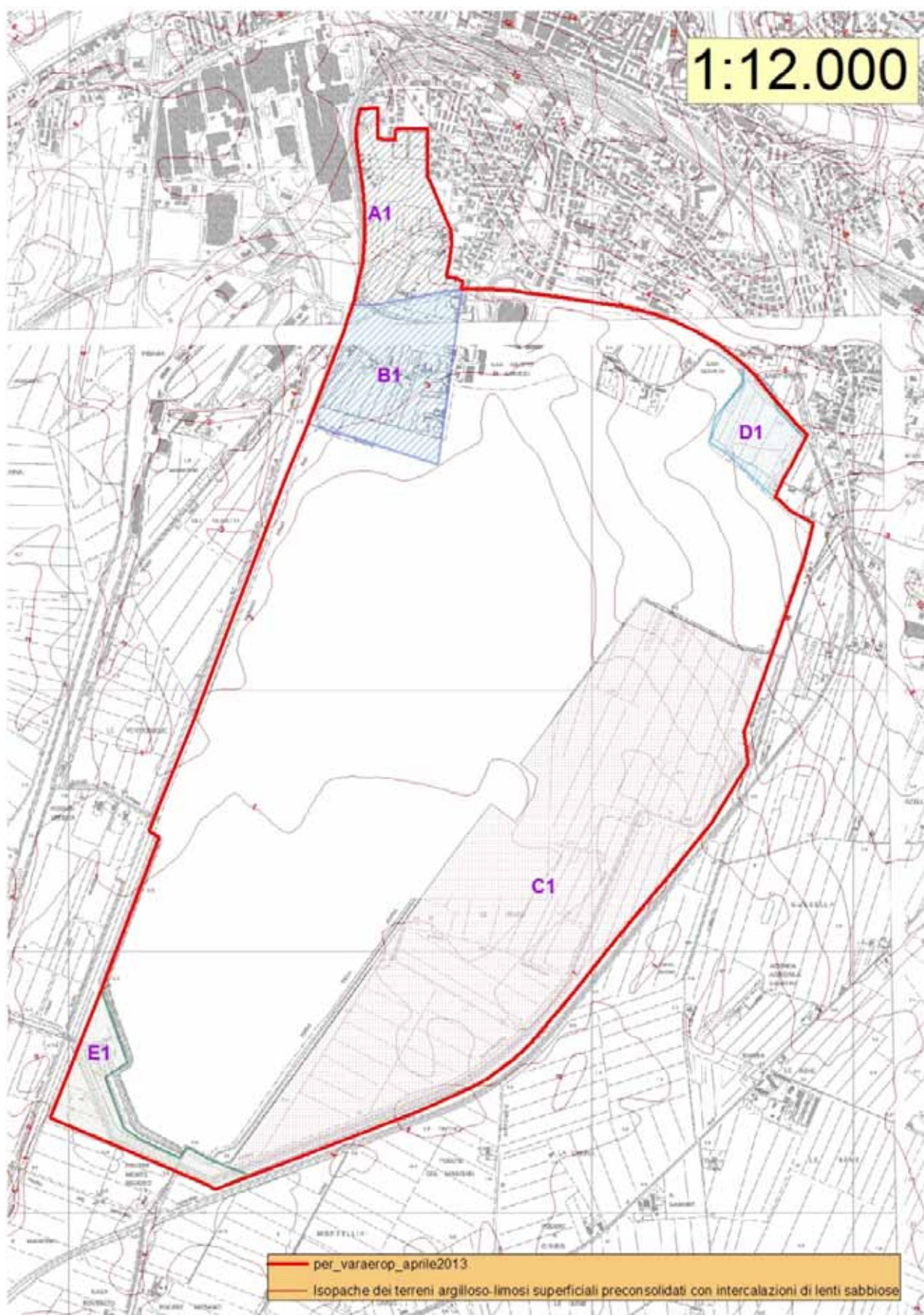


Fig. 16 – “PS Carta Argille Compressibili”



#### 1.2.4.1 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI SUPERFICIALI

Escludendo la fascia litorale sabbiosa per la quale non sussistono problemi di cedimenti e cedimenti differenziali, la rimanente parte del territorio pisano è costituita da una successione di sedimenti prevalentemente limo-argillosi con intercalazioni sabbiosolimose di età recente che si sono formati in un ambiente sia fluviale che di palude e laguna costiera.

In questo contesto, la Carta della profondità del tetto delle argille compressibili rappresenta una suddivisione del terreno più superficiale in due orizzonti. Tale suddivisione è operata allo scopo di distinguere i terreni o i gruppi di terreni in base al loro comportamento sotto la applicazione dei carichi degli edifici.

La carta suddetta va quindi ad aggiungersi a quelle geologica e litotecnica in quanto rappresentazione del sottosuolo che mette in evidenza le aree interessate da vari gradi di suscettibilità ai cedimenti. E' da notare che a tale suscettibilità risulta strettamente correlata la pericolosità geomorfologica della pianura alluvionale pisana.

Per quanto riguarda la zona di pianura ad est delle dune costiere, lo spessore di terreno normalmente interessato dai carichi trasmessi dalle fondazioni delle strutture, può essere schematicamente suddiviso, in base ai criteri sopra esposti, in due orizzonti riconoscibili in tutte le stratigrafie dei sondaggi ed in tutte le altre prove geotecniche.

##### *ARGILLE E LIMI SUPERFICIALI CON INTERCALAZIONI SABBIOSE.*

Questo primo orizzonte è caratterizzato da limi ed argille di colore bruno-giallastro talvolta con intercalazioni sabbiose. La componente limosa è generalmente preponderante su quella argillosa. Sono inoltre stati riscontrati casi in cui nei primi metri di terreno sono state ritrovate solo sabbie, come ad esempio nella zona di Ospedaletto.

In base a prove edometriche effettuate su campioni indisturbati prelevati negli orizzonti argillosi e limo-argillosi, è risultato che questo orizzonte è preconsolidato, di conseguenza caratterizzato da una compressibilità ridotta. Questi terreni presentano inoltre valori generalmente elevati dell'indice di consistenza e valori del peso di volume compresi tra 1,7 e 1,9 kg/cmq.

In base ai risultati di tutte le prove analizzate, i terreni appartenenti a questo primo orizzonte superficiale presentano buone garanzie sia dal punto di vista della capacità portante che dei cedimenti del terreno stesso.

##### *ARGILLE GRIGIO AZZURRE PLASTICHE.*

Si trovano al di sotto del livello sopra descritto. Generalmente queste argille, caratterizzate da elevate plasticità ed umidità naturale, contengono al loro interno lenti sabbiose più o meno spesse. Diversamente dalle sovrastanti sono normalmente consolidate e quindi più suscettibili ai cedimenti, in quanto, dai dati di prove edometriche su campioni indisturbati, la compressibilità è risultata molto elevata. Spesso all'interno di queste argille si trovano inoltre degli strati torbosi la cui frequenza e spessore influenzano ancora negativamente il comportamento meccanico di questi terreni. Le argille grigie plastiche presentano valori dell'indice di consistenza e del peso di volume (variabile tra 1,6 e 1,7 kg/cmq) marcatamente più bassi dei terreni sovrastanti.

La distinzione tra questi due tipi di terreni, oltre che dal colore, è marcata dalla improvvisa diminuzione sia dei valori della coesione che del coefficiente di compressione forniti dai dati delle prove penetrometriche statiche e dalle prove di laboratorio su campioni indisturbati.

Per ciascun punto di indagine, del quale sono noti i risultati delle indagini geotecniche, è stato quindi possibile individuare la posizione del tetto delle argille plastiche compressibili rispetto al piano di campagna.

#### 1.2.4.2 RICOSTRUZIONE DELLA CARTA DEL TETTO DELLE ARGILLE PLASTICHE

Per effettuare la ricostruzione della carta del tetto delle argille plastiche, per ciascun sondaggio o prova penetrometrica a nostra disposizione è stata riconosciuta preliminarmente la profondità alla quale avviene il passaggio tra i due orizzonti a comportamento meccanico diverso in relazione alla capacità portante e alla suscettibilità ai cedimenti.

Successivamente, per mezzo di una elaborazione informatica, è stato possibile disegnare delle linee che rappresentano i punti di uguale profondità del tetto delle argille grigie plastiche rispetto al piano di campagna.

A questo proposito è da notare che i terreni caratterizzati da scadenti caratteristiche geotecniche sono presenti sia in aree impaludate fino agli inizi di questo secolo colmate in tempi recenti sia nel sottosuolo della città di Pisa e delle sue aree periferiche. Questi terreni molto compressibili, pur essendo pressoché uguali dal punto di vista delle scadenti caratteristiche geotecniche, non sono coevi; di conseguenza è necessario sottolineare che la correlazione effettuata ha un significato esclusivamente geotecnico.

Nell'area indagata, il tetto delle argille grigie plastiche si trova a profondità variabile da 0 fino a circa 30 m dal p.c. Le aree in cui le argille plastiche grigie scadenti non sono sormontate dalle argille e limi bruni preconsolidati ed affiorano sul piano di campagna, e le zone in cui queste argille sono a scarsa profondità dal p.c. (tra 1 e 2 m) sono evidentemente da considerarsi più problematiche. Altre zone, in cui le argille plastiche si trovano a profondità più elevate, sono meno critiche dal punto di vista geotecnico.

Per marcare le aree a maggiore criticità sono state evidenziate nella Carta del tetto delle argille plastiche, le aree in cui il tetto di tali argille si trova a profondità inferiori ai 2 m dal p.c. in quanto questa profondità è stata assunta come idonea a rappresentare lo spessore medio di terreno eventualmente interessato dalla rottura e maggiormente sottoposto ai cedimenti se sottoposto a condizioni di carico.

Si tratta comunque di una schematizzazione indicativa a carattere generale in quanto i cedimenti dello stesso terreno saranno diversi in relazione sia alla variazione dello spessore di terreno interessato dai carichi delle strutture a sua volta dipendente dalle diverse tipologie di fondazione e dalla entità delle pressioni da queste trasmesse.

#### 1.2.4.3 AREE DI AFFIORAMENTO DI ARGILLE MOLLI AD ALTA COMPONENTE ORGANICA

Le zone in cui le argille organiche sopra descritte sono affioranti o il cui tetto si trova a profondità molto prossime al piano di campagna in modo da interferire con i carichi trasmessi dalle strutture di fondazione sono state localizzate in vari punti del comune di Pisa, sia in aree più limitate nelle zone urbanizzate sia, in modo più ampio, nel territorio extraurbano.

E' da notare inoltre che tra le zone critiche sono da annoverarsi anche le zone di passaggio laterale tra le argille grigie plastiche e le argille e limi preconsolidati, che a volte possono risultare molto brusche, e in cui possono verificarsi cedimenti differenziali se interessati dalla stessa struttura fondazionale.

Nelle aree di affioramento di argille molli ad alta componente organica la ipotetica progettazione di manufatti non è impedita, ma dovrà tener conto di questo problema prevedendo studi particolareggiati che accertino lo spessore dello strato cedevole (che può variare localmente) e di conseguenza dei sistemi fondazionali di un certo impegno per evitare danni alle strutture a causa di cedimenti e cedimenti differenziali. Si descrivono di seguito le aree più critiche da questo punto di vista.

#### *AREE A NORD DEL FIUME ARNO.*

A Campaldo ed in alcune aree ad est questa, lungo il Fiume Morto (a Nord del cimitero della Misericordia) e nella zona delle Lenze a sud di Campaldo stesso, le argille plastiche compressibili si trovano alla profondità comprese tra 1 e 2 m dal p.c.

Per quanto riguarda le aree urbane le argille plastiche si trovano a profondità comprese tra 0 e 2m dal piano di campagna in una fascia che va da una piccola zona ad est di Barbaricina in prossimità della via Aurelia alla zona dell'Ospedale di S. Chiara, della Torre Pendente fino a Piazza S. Caterina.

Ad ovest di queste è stata individuata un'area limitata in località San Cataldo in cui il tetto delle argille compressibili si trova a profondità comprese tra 1 e 2 m.

Nella zona di Cisanello le argille plastiche affiorano direttamente sul terreno nell'area dell'Ospedale, mentre più a sud, a San Biagio, tali argille sono state individuate alla profondità di 1 m.

#### *AREE A SUD DEL FIUME ARNO.*

Nella zona ad est della Vettola, in prossimità dell'Arno, dei sondaggi, effettuati in occasione della realizzazione dell'autostrada, hanno individuato il tetto delle argille plastiche compressibili alla profondità di 2 m dal piano di campagna.

Nell'area del Gracitone, a Nord di Castagnolo, le argille plastiche si trovano poco al di sotto del piano di campagna a profondità comprese tra 1 m e 2 m.

Molto più ad est, in prossimità del limite comunale più orientale, in una piccola area ad est della zona industriale di Ospedaletto, il tetto delle argille compressibili è stato localizzato alla profondità di 1,5 m.

Nelle zone di bonifica recenti, come l'ampia zona a nord della antica duna di Coltano, delle Rene, Mortellini e Le Prata e più a nord la zona dell'aeroporto, le argille plastiche sono affioranti o subaffioranti, come anche ad est della duna di Coltano, nell'area della tenuta dei Prati di Montacchiello e nella zona a nord dello stabilimento dell'Acqua Donata. La stessa situazione si ritrova nella zona del padule di Stagno a sud della duna sabbiosa di Coltano.

#### *1.3 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI GEOMORFOLOGICI*

---

Le aree d'intervento sono collocate in un ambito di pianura con andamento quasi orizzontale. I profili topografici si caratterizzano per modeste variazioni morfologiche dovute essenzialmente a trasformazioni antropiche (riporto) connesse alle urbanizzazioni.

A grandi linee il settore d'interesse esibisce un quadro morfologico relativamente semplice non mostra indizi di erosione evidente nel suolo né d'instabilità.

Per integrare il quadro conoscitivo predisposto in fase di Piano Strutturale, si è fatto riferimento alla Carta Geomorfologica predisposta dalla Provincia di Pisa.

Inserire carta geomorfologica Provincia di Pisa



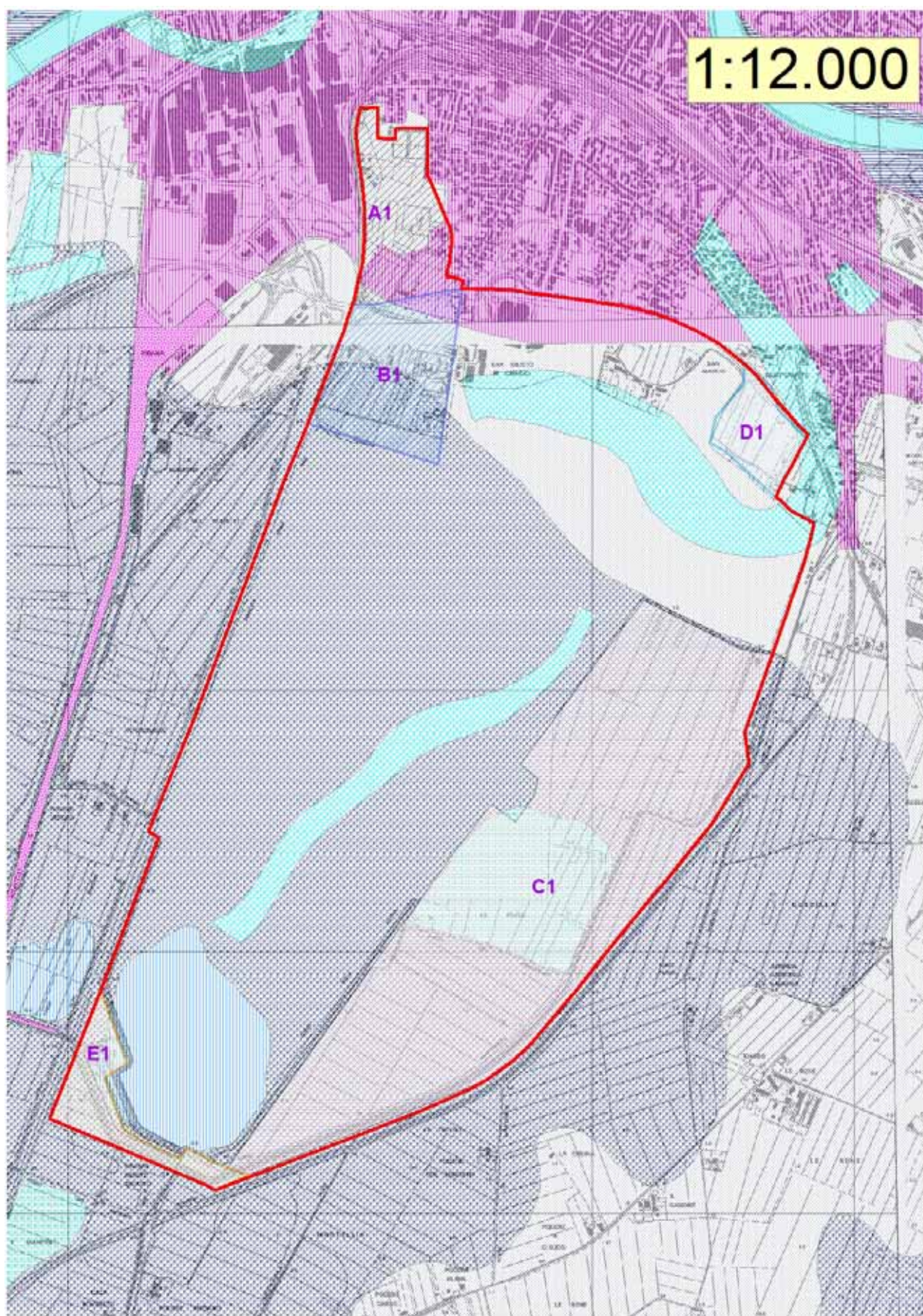
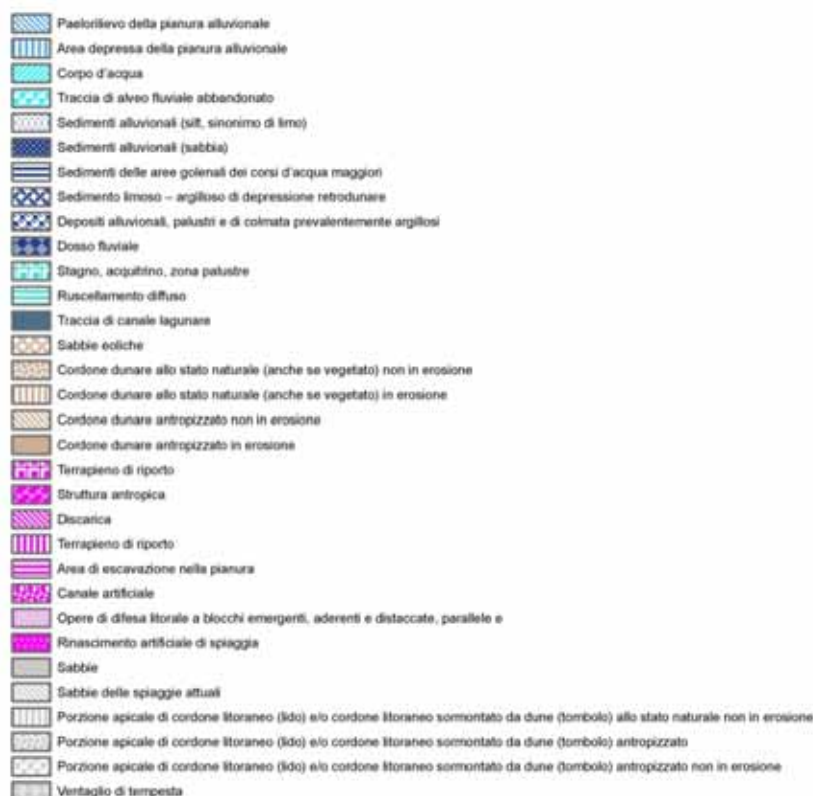


Fig. 17 – “Carta geomorfologica della Provincia di Pisa”



Di seguito legenda carta geomorfologica:



*Legenda geomorfologica Provincia di Pisa*

**TIPO DEPOSITI**

- 2051 Sedimenti alluvionali (silt, sinonimo di limo)
- 2060 Depositi alluvionali, palustri e di colmata prevalentemente argillosi
- 7121 Cordone dunare antropizzato non in erosione
- 8020 Struttura antropica
- 8030 Discarica
- 8040 Terrapieno di riporto

**FORME**

- 2040 Traccia di alveo fluviale abbandonato
- 2061 Dosso fluviale
- 6210 Traccia di canale lagunare
- 9120 Porzione apicale di cordone litoraneo (lido) e/o cordone litoraneo sormontato da dune (tombolo) antropizzato
- 

| Area | descrizione                   | TIPO_1          |
|------|-------------------------------|-----------------|
|      |                               | Inserire codice |
| A1   | Terrapieno di riporto         | 8040            |
|      | Sedimenti alluvionali         | 2051            |
| B1   | Depositi alluvionali palustri | 2060            |
|      | Sedimenti alluvionali         | 2051            |
|      | Terrapieno di riporto         | 8040            |
| C1   | Depositi alluvionali          | 2060            |
|      | Stagni acquitrini             | 2110            |
| D1   | Sedimenti alluvionali         | 2051            |
|      |                               |                 |
| E1   | Depositi alluvionali          | 2060            |
|      |                               |                 |

#### 1.3.1.1 *CONSIDERAZIONI SUGLI ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI GEOMORFOLOGICI*

Anche per tale aspetto l'indagine condotta non ha comportato una variazione sostanziale del quadro conoscitivo disponibile.

### 1.4 *ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI IDRAULICI*

#### 1.4.1 *LINEAMENTI IDROGRAFICI E IDRAULICI GENERALI - LA CARTA ALTIMETRICA*

Il territorio del Comune di Pisa si estende in un'area di pianura limitata a Nord dal Fiume Morto e dal Fiume Morto Vecchio, a Ovest da una serie di canali che comprendono il Canale Demaniale di Ripafratta, il Fosso dei Sei Comuni, il Nugolaio di Ceria (Acque Alte e Acque Basse), la zona compresa fra il Fosso e Antifosso del Torale, il Fosso Caligi, a Sud dall'allineamento Fossa Chiara-Scolmatore, ad Est dalla linea di costa del mare.

Esso si colloca, per la maggior parte della sua estensione, nella porzione terminale del bacino idrografico del Fiume Arno (Valdarno Inferiore), mentre una piccola parte del territorio, posta al margine settentrionale del Comune compresa fra il Fiume Morto Vecchio a Nord, il Fiume Morto a Sud e la linea di costa a Ovest, fa parte del bacino idrografico del Fiume Serchio.

La pianura nel territorio comunale si presenta con andamento quasi orizzontale (confronta "Carta Altimetrica"), con pochissima inclinazione verso il mare. Dal punto di vista altimetrico le quote variano da valori inferiori a -1 m s.l.m. fino a valori di circa 8-9 m s.l.m. Le zone morfologicamente più elevate sono le dune costiere attuali (con quote fino a 4-5 m s.l.m.), le dune quaternarie di Castagnolo-Coltano (con quote fino a 8-9 m s.l.m.) e la fascia di conoide dell'Arno che si protrae a ventaglio fino all'altezza di Barbaricina, a valle della città di Pisa, con quote, nelle zone più elevate, fino a circa 8 m s.l.m. Le zone morfologicamente più depresse sono quelle che circondano l'allineamento Castagnolo-Coltano ai relativi margini settentrionali e meridionali (con quote inferiori a -1 m s.l.m.), aree attualmente interessate dalle bonifiche di Coltano e della Vettola.

Le acque che investono il territorio e che provocano situazioni di crisi in varie parti di esso, sono essenzialmente di due tipi:

quelle portate dai fiumi (per la maggior quantità dall'Arno) e dai fossi e canali che percorrono l'intero territorio;

quelle che provengono dalle precipitazioni meteoriche ricadenti direttamente sul territorio.

Le acque che condizionano l'idrologia della pianura non sono comunque quelle dell'Arno che, essendo totalmente arginato, costituisce un sistema idraulico a se stante (Sistema Idraulico dell'Arno), ma quelle dei fossi e canali che costituiscono i sistemi di bonifica estesi per gran parte del territorio del Comune (Sistemi di Bonifica a scolo naturale e meccanico), unite alle acque meteoriche. A causa sia della bassa pendenza, sia delle condizioni altimetriche della pianura, sia della presenza di falde a pelo libero e della situazione idrologica sopra accennata, ne deriva una diffusa presenza di acque stagnanti e lentamente fluenti verso il mare.

Dal punto di vista idraulico il territorio del Comune di Pisa è in effetti interessato da due distinti sistemi idraulici:

sistema Idraulico dell'Arno;

sistema Idraulico delle Bonifiche, all'interno del quale si distinguono quelle a scolo naturale da quelle a scolo meccanico.

##### 1.4.1.1 *IL "SISTEMA IDRAULICO DELL'ARNO"*

Il principale corso d'acqua che interessa il territorio comunale è il Fiume Arno, che lo attraversa trasversalmente da Est verso Ovest, per una lunghezza di circa 16 Km.

L'Arno entra nel territorio comunale all'altezza del meandro di Cisanello e, dopo avere attraversato la zona golenale della Cella (circa 2.5 Km), passa nel tratto urbano di Pisa, proseguendo verso la foce con un andamento rettilineo secondo la direzione NE-SW, fino a girare e disporsi E-W circa 3.5 Km prima dello sbocco in mare.



Il fiume Arno è pensile sulla pianura circostante fino a valle di “La Vettola”, cioè allo sbocco del conoide altimetricamente più elevato, costituito dai depositi limoso-sabbiosi del fiume.

Dall'esame della Carta dei Sistemi idraulici si può notare che l'asta dell'Arno corre, per tutto il territorio del Comune di Pisa, all'interno della fascia golenale di prima pertinenza fluviale, situata internamente agli argini. Questa fascia, che ha la massima larghezza in corrispondenza della golenale di “La Cella” nei pressi di Putignano in sinistra del fiume (circa 350 m nel tratto più largo della golenale), si restringe bruscamente fino a diventare totalmente assente nel tratto che attraversa la città di Pisa. In corrispondenza dell'entrata dell'Arno nel tratto urbano (poco prima del Ponte della Vittoria), l'asta fluviale presenta, inoltre, una curva molto accentuata. Dopo il Ponte dell'Aurelia, oltrepassata la città, riprende la fascia golenale, la quale continua fino allo sbocco in mare (in realtà, essa si interrompe circa 2.5 Km prima della foce sul lato destro del fiume).

L'unico apporto di acque che riceve l'Arno nell'ambito del territorio comunale è rappresentato da quelle del “Canale Demaniale di Ripafratta”, il quale deriva quelle del Serchio e le fa confluire nell'Arno subito a monte del Ponte della Fortezza. In questo punto è presente un sistema di cateratte che vengono chiuse quando l'Arno è in piena.

#### *L'ARNO NEI PRESSI DEL MEANDRO DI CISANELLO E DI RIGLIONE.*

Il fiume Arno, al margine nord-orientale del comune di Pisa, forma un'ampia ansa all'interno della quale si trova l'abitato di Cisanello. In questo tratto il fiume, che è pensile rispetto alla pianura, ha una larghezza di circa 80-100 m. La fascia golenale all'interno della quale scorre il fiume è più ampia sul lato destro. Dall'esame del Catasto Leopoldino (anni 1830 e 1876) si vede come, almeno fino al 1830, la zona di golenale sul lato destro dell'asta fluviale fosse molto più estesa rispetto all'attuale; già nel Catasto Leopoldino del 1876 è evidente l'arginatura dell'Arno nella posizione attuale.

Sul lato destro del fiume, alla fine di questo tratto, subito a monte della golenale di “La Cella”, si trovano le “Bocchette di Putignano”, edificio a cateratte fatto innalzare nel 1558 da Cosimo I dei Medici, per derivare le acque torbide dell'Arno nel contiguo Fosso delle Bocchette, al fine di colmare il padule di Coltano (“Padule Maggiore”). Il Fosso delle Bocchette passava dove attualmente passa il canale a scolo meccanico “Arginone di Putignano” fino all'altezza di Ospedaletto, poi voltava verso il padule di Coltano (oggi non c'è presenza di alcun fosso lungo questo secondo tratto). L'alveo del fosso delle Bocchette fu in seguito soppresso e portato al livello della pianura circostante. Testimonianza della presenza di questo fosso si può ricavare sia nel catasto Leopoldino del 1876, dove è evidente una fascia chiamata “Arginone”, attualmente occupata da capannoni nella zona di Ospedaletto, sia nell'idrografia attuale dove, al margine occidentale di questa fascia, scorre il canale a scolo meccanico facente parte oggi della bonifica di S. Giusto, che ha conservato il nome di “Arginone di Putignano”.

#### *L'ARNO NEI PRESSI DELLA GOLENA DI “LA CELLA”.*

La golenale di “La Cella” è localizzata in sinistra del fiume Arno all'altezza dell'abitato di Putignano Pisano, a monte dell'entrata dell'Arno nel tratto cittadino. Essa, che risulta essere la più estesa di tutto il territorio comunale, ha una larghezza massima di circa 350 m e una lunghezza di circa 4 Km.

I terreni che costituiscono la golenale hanno quote che si aggirano intorno agli 8 m s.l.m.; sono comunque evidenti zone molto depresse, che corrispondono a aree sfruttate come cave di argilla in tempi passati.

La quota massima dell'argine sinistro della golenale è circa 9.50 m s.l.m. Il suo piede esterno corrisponde alla statale Tosco Romagnola (“Via Fiorentina”).

Attualmente nell'area golenale sono presenti campi e attrezzature sportive.

Il Fiume Arno in questo tratto ha una larghezza di circa 100-110 m ed è pensile sulla pianura circostante.

L'argine destro è rappresentato dal Viale delle Piagge (quota circa 9.5 m s.l.m.), all'interno del quale è stato costruito un muretto di circa 60 cm per evitare che, durante le piene, l'Arno possa invadere tutta la zona urbanizzata posta esternamente al Viale delle Piagge (zona di S. Michele degli Scalzi).

#### *L'ARNO NEL TRATTO DI "PORTA FIORENTINA".*

In questa zona l'asta del fiume scorre all'interno di una fascia golenale molto ristretta, con argini che mediamente hanno quote di circa 9.50 m s.l.m., ma che presentano quote leggermente più basse sul lato destro del fiume (Zona dei Vigili del Fuoco). La larghezza dell'alveo è di circa 100 m. L'asta del fiume presenta una brusca curva subito a monte del Ponte della Vittoria.

Dall'esame del Catasto Leopoldino del 1876 e dell'IGM 1929-1939 si può vedere come tutta la zona attualmente occupata dal parcheggio sul Lungarno Guadalongo fosse un'area di pertinenza fluviale (golena), che è stata probabilmente riempita con le macerie degli edifici crollati nella seconda guerra mondiale. In destra del fiume, in corrispondenza dell'ansa dell'Arno prima del Ponte della Vittoria (zona dei Vigili del Fuoco e del Palazzo dei Congressi) era presente un'altra area golenale con argine destro corrispondente alle attuali "Via del Borghetto" e "Via S. Michele".

#### *L'ARNO NEL TRATTO URBANO DI PISA (DAL PONTE DELLA VITTORIA AL PONTE DELLA FERROVIA).*

L'Arno è attraversato nel tratto urbano da 6 ponti (da Est a Ovest: Ponte della Vittoria, Ponte della Fortezza, Ponte di Mezzo, Ponte Solferino, Ponte della Cittadella, Ponte della Ferrovia). Come già accennato, il "Canale Demaniale di Ripafratta" confluisce, a monte del Ponte della Fortezza, nell'Arno, e la confluenza è regolata da un sistema di cateratte. Nel tratto in esame la fascia golenale è totalmente assente, mentre gli argini sono rappresentati dalle "spallette" che delimitano i lungarni. Le quote delle spallette rispetto al livello del mare degradano da valori di circa 9 m fino a 6.5 m in un tratto di circa 2 Km, evidenziando quindi un tratto a maggiore pendenza in corrispondenza della città di Pisa. La larghezza dell'alveo in questo tratto è la più stretta di tutta l'asta fluviale dell'Arno nel territorio del Comune di Pisa (circa 70 m di larghezza nel tratto più stretto, in corrispondenza del Ponte di Mezzo). Sono presenti a monte del Ponte di Mezzo accumuli di sabbia nell'alveo dell'Arno ("barre"), i quali riducono fortemente la sezione idraulica del fiume.

#### *L'ARNO NEL TRATTO DAL PONTE DELLA FERROVIA FINO AL PONTE DEL CEP.*

La fascia golenale è quasi totalmente assente nel tratto fra il Ponte della Ferrovia e il Ponte dell'Aurelia, mentre comincia ad allargarsi superato il Ponte dell'Aurelia, estendendosi fino a circa 70 m sul lato sinistro e oltre i 100 m sul lato destro del fiume.

Le quote degli argini si mantengono sempre più elevate sul lato destro del fiume, dove variano tra 6 e 8 metri s.l.m., mentre sul lato sinistro del fiume (zona di "La Vettola") le quote delle sommità arginali risultano inferiori di circa 1 m rispetto a quelle dell'argine destro. Sulla golena sinistra sono presenti edifici.

#### *L'ARNO NEL TRATTO DAL PONTE DEL CEP FINO ALLA FOCE.*

Nel tratto finale le sommità arginali vanno decrescendo fino ad annullarsi in prossimità della foce dove, sul lato destro, l'argine si interrompe circa 2.5 km prima dello sbocco in mare. L'argine sinistro è rappresentato dal Viale D'Annunzio. La golena risulta abbastanza ampia sia sul lato destro del fiume (a valle di Barbaricina raggiunge i 200 m di ampiezza), sia sul lato sinistro, sul quale si restringe solo negli ultimi 3 km circa.

In tutta la golena sinistra sono presenti impianti per la cantieristica da diporto e piccole abitazioni.

##### *1.4.1.2 IL SISTEMA DELLE BONIFICHE*

La pianura di Pisa è servita, per lo scolo delle acque meteoriche, da un reticolo idraulico che si articola in canali, in parte tra loro comunicanti.

I canali di questo reticolo idraulico e i bacini che essi sottendono, appartengono, come già accennato, a 2 sistemi tra loro separati, che sono:

- il sistema delle bonifiche a scolo naturale;
- il sistema delle bonifiche a scolo meccanico.

Il sistema a "scolo naturale" (o di "acque alte") smaltisce le acque meteoriche che provengono da zone morfologicamente più alte (zone di collina e dei Monti Pisani per il settore a Nord dell'Arno e le acque della piana di Cascina per la parte a Sud dell'Arno).

Il sistema a “scolo meccanico” (o di “acque basse”) smaltisce, attraverso un prosciugamento per esaurimento meccanico con sollevamento all’impianto idrovoro, le acque meteoriche che ristagnano nelle parti del territorio morfologicamente più depresse, comprese le acque di falda che, localmente, sgorgano direttamente dal terreno.

Sia le acque a scolo naturale che quelle a scolo meccanico vengono immesse (le prime per deflusso naturale, le seconde per sollevamento meccanico) in canali ricettori detti di “acque medie”: infatti, per ricevere, devono avere una quota intermedia fra il sistema di acque alte e quello di acque basse.

La bonifica idraulica per prosciugamento meccanico ha quindi la funzione di allontanare le acque superflue e quelle che possono ristagnare, ma ha anche la funzione di impedire che la quota della falda freatica sia troppo vicina alla superficie del terreno, così da recare danno alle culture agricole.

Tutto il sistema di bonifica è, ovviamente, completamente separato dal sistema idraulico dell’Arno.

Il reticolo idraulico, progettato per bonificare la bassa piana pisana, riceve anche i reflui trattati e non, provenienti dalle aree urbane. In assenza di efficaci sistemi di depurazione, questi due sistemi dovrebbero essere mantenuti separati con apposite linee d’acqua, riducendo quindi anche il rischio di allagamenti per sottodimensionamento delle sezioni idrauliche.

Uno dei principali problemi idraulici della Pianura di Pisa è la mancanza, su quasi tutto il territorio occupato dalla città, di una fognatura separata fra acque bianche e nere.

L’unica zona della città effettivamente allacciata oggi (circa all’80%) è quella di Porta Lucca, che è collegata al depuratore di S. Jacopo. Infatti, per quanto riguarda la zona della città a Nord dell’Arno, sia la porzione dentro le mura, sia la zona di Cisanello (dove i collettori di fognatura nera sono praticamente quasi pronti, ma mancano gli allacciamenti dei singoli edifici), sia la zona Ovest (fra Via Bonanno e la Ferrovia) sia la zona di Barbaricina-Cep, scaricano i reflui urbani nei fossi e canali di superficie che confluiscono nel Fiume Morto.

Per quanto riguarda la zona a sud dell’Arno, la situazione attuale è che tutta l’area, fatta eccezione una parte di Riglione che è allacciata al depuratore di La Fontina (circa al 40%), è a fognatura mista con recapito finale nel Canale Nuovo dei Navicelli.

I principali scoli fognari nella zona a Nord dell’Arno sono:

Fosso Tedaldo (zona Ovest della città fra “Via Bonanno” e la Ferrovia);

Scolo delle Lenze e Scolo di Barbaricina (zona di Barbaricina-Cep);

Fosso Marmigliaio, Fagianaia, Fosso Osoretto (centro urbano);

Fosso dei Sei Comuni (Cisanello - Pisanova).

Nella Zona a Sud dell’Arno:

Scolo di Pisa e Carraia d’Orlando-Canale delle Venticinque (Pisa Sud-SudOvest);

Fosso S. Ermete (Pisa SudEst - S. Ermete);

Fosso Caligi (Riglione, Ospedaletto e zona artigianale).

La zona del Litorale è invece, provvista di due depuratori (Marina di Pisa e Tirrenia) ai quali sono già allacciati gran parte degli edifici.

Il deflusso generale delle acque in uscita dalla città di Pisa è “strozzato” da due infrastrutture importanti: la Ferrovia e l’aeroporto. Questo implica che si verifichino frequenti allagamenti nelle porzioni morfologicamente più depresse della città, nei quartieri meridionali e occidentali. La Ferrovia agisce infatti come barriera al normale scorrimento delle acque, creando un “effetto diga” e la sua presenza impone dei limiti anche a un potenziale adeguamento alle aumentate portate in uscita dalla città dei fossi di scolo attuali. Le zone più frequentemente allagate sono: “Via Corridoni”, immediatamente a Nord della Stazione, la zona di “Via Bonanno”, “Via Risorgimento”, “Campaldino”, “Porta Nuova” immediatamente a Est del tratto Pisa-S. Rossore (confronta “Carta delle aree allagabili”). Bisogna ricordare che durante la Seconda Guerra Mondiale tutta la zona di Via Corridoni e della Stazione venne completamente distrutta dai bombardamenti. La rete fognaria di questa zona, collegata attraverso un collettore con il sistema di scolo di S. Giusto, probabilmente non fu adeguatamente ripristinata nella ricostruzione post-bellica.



Altre zone nella immediata periferia di Pisa (come Porta a Lucca, Cisanello) spesso si allagano perchè risentono della insufficienza della attuale rete idraulica (mancanza di adeguati dimensionamenti dei canali, carenza di fossi di scolo): tali problemi potrebbero essere risolti costruendo nuovi canali, ridimensionando gli attuali e installando un impianto idrovoro nei pressi dell'Ospedale di Cisanello per il recapito finale delle acque in Arno.

Sta di fatto che gli allagamenti a Pisa e pianura si presentano già quando si superano soglie giornaliere di precipitazione meteorica di circa 100-150 mm di pioggia (bisogna ricordare che a Pisa il 23 settembre 1991 sono piovuti circa 230 mm di pioggia dalle 5 alle 14.30; il 4 novembre 1966 caddero 256 mm di pioggia in un giorno).

Essendo inoltre Pisa e la pianura circostante un territorio con vaste aree depresse, situate anche nei pressi della città, è sufficiente la mancanza di manutenzione e/o la cattiva gestione delle condizioni di scolo del vasto e complesso sistema idraulico, per mettere in crisi ampie zone, che causano frequenti allagamenti anche nel tratto urbano.

#### 1.4.1.3 ELEMENTI RAPPRESENTATI NELLA CARTA DEI SISTEMI IDRAULICI

Le bonifiche che interessano, in tutto o in parte, il territorio del Comune di Pisa sono 6:

- Bonifica del Fiume Morto;
- Bonifica di La Vettola;
- Bonifica di S. Giusto;
- Bonifica di Coltano;
- Bonifica dell'Arnaccio;
- Bonifica di Tombolo.

Il sistema della bonifica meccanica è regolato da 7 impianti idrovori di pompaggio a sollevamento meccanico delle acque, posti nelle zone più basse di ciascun bacino, nei quali l'acqua non deve superare un livello prefissato, detto "zero di bonifica".

I canali ricettori delle bonifiche, sia meccaniche che naturali, sono:

il Fiume Morto, per la zona posta a Nord dell'Arno;

il Canale Nuovo dei Navicelli, per la zona posta a Sud dell'Arno.

A questi vanno aggiunti:

il Canale Scolmatore per la zona più meridionale del territorio comunale, in cui recapitano rispettivamente la Fossa Chiara e l'impianto idrovoro del Calambrone (Lamone sud)

il Fiume Arno limitatamente allo scarico dell'impianto idrovoro di Marina di Pisa (Lamone nord)

Nella carta dei sistemi idraulici sono rappresentati:

il sistema idraulico dell'Arno, comprendente l'alveo, le fasce di prima pertinenza fluviale ("golene") e il Canale Demaniale di Ripafratta che rappresenta l'attuale unico apporto di acque nel Fiume Arno;

i bacini di bonifica meccanica, con un colore pieno;

i bacini a scolo naturale, con una campitura rigata.

In questa carta vengono evidenziate le linee idrauliche principali, i fossi e gli antifossi, i colatori e i collettori di bonifica ciascuno con il rispettivo senso di deflusso: fra essi sono distinti in blu quelli a scolo naturale e in rosso quelli a scolo meccanico.

Dove possibile, sono stati messi in evidenza i tratti dei fossi tombati con un tratteggio. Sono evidenziati, inoltre, gli impianti idrovori.

Con delle frecce viene indicato il generale deflusso delle acque, per una maggiore intuitiva comprensione del sistema idraulico.

Analizziamo ora in dettaglio le diverse aree di bonifica.

Per ciascuna zona, verrà fatta una descrizione sommaria delle condizioni idrauliche di deflusso superficiale, legate in buona parte all'altimetria, cercando di identificare le zone soggette ad episodi di allagamento; successivamente verranno indicate fasce di rispetto da tutelare per possibili interventi di regimazione.

#### ZONA A NORD DELL'ARNO

#### BACINO DI BONIFICA DEL FIUME MORTO.

Tutto il territorio comunale posto a Nord dell'Arno, come già accennato, convoglia le sue acque (meteoriche, reflue trattate e non) nel F. Morto.

Tutta questa zona fa parte della più ampia bonifica del F. Morto, il cui comprensorio è definito dalla linea di displuvio dei Monti Pisani, dal F. Serchio, dall'Arno e dal mare.

In essa si possono distinguere 4 ulteriori settori:

1a: sottobacino di bonifica per esaurimento meccanico di Campaldo;

1b: sottobacino di bonifica a scolo naturale del Fosso Tedaldo e di Barbaricina;

1c: sottobacino di bonifica a scolo naturale della Tenuta di S. Rossore;

1d: sottobacino di bonifica a scolo naturale di Centro Storico Cisanello-Pisanova- Porta a Lucca.

#### SOTTOBACINO A SCOLO NATURALE DEL FOSSO TEDALDO E DI BARBARICINA

Area con sistema di fognatura mista, (ovvero con acque bianche e nere non separate).

Il Fosso Tedaldo (a scolo naturale) raccoglie le acque meteoriche e i reflui della porzione occidentale della città posta tra la Via Bonanno e la Ferrovia Pisa - S. Rossore, e le convoglia nel Fiume Morto, all'altezza delle dune della Sterpaia. Attualmente esso è quindi un canale adibito a scolo fognario. Si presenta tombato (2 tubi 150) dalla sua nascita fino a circa 250 m dalla sua confluenza con il "Fosso lungo la Via delle Cascine", mentre si presenta a cielo aperto nel tratto successivo fino al F. Morto (il tratto finale, prima di immettersi nel F. Morto, è la Fossa Cuccia, canale trecentesco che confluiva nell'Arno con un senso di deflusso opposto a quello odierno, probabilmente seguendo il tracciato dell'attuale "Colatore n. 5 di Campaldo", oggi a scolo meccanico).

La zona di Barbaricina è servita dallo "Scolo di Barbaricina" e dallo "Scolo delle Lenze" ("Alle Lenze" è un toponimo che compare già intorno al 1140 per indicare appezzamenti di terreno "a lenza" di bonifica di aree poste nei pressi di paludi - cfr in Redi, 1991). Il sistema fognario di questi quartieri è collegato ai fossi da una vasca di decantazione e chiarificazione.

#### SOTTOBACINO DI BONIFICA MECCANICA DI CAMPALDO

L'area della bonifica meccanica di Campaldo presenta, nella parte più occidentale, una zona morfologicamente più depressa (quote intorno allo zero), soggetta ad allagamenti.

La porzione più occidentale di questo bacino (zona fra la Via Pietrasantina e il "Collettore di Campaldo") è invece altimetricamente più elevata (confronta "Carta Altimetrica").

Il "Colatore n. 4 di Campaldo-ramo destro" e il "Colatore n. 3 di Campaldo-ramo destro" sono scoli fognari della periferia nord occidentale della città ("Campaldino").

Anche in questa zona esiste quindi il problema della commistione fra acque di fognatura e quelle di bonifica.

La zona a scolo naturale "1b" interferisce con quella a scolo meccanico "1a" in un punto in cui il Tedaldo viene deviato nel "Collettore di Campaldo" a bonifica meccanica, attraverso un sistema di cateratte.

Nella stagione autunnale e invernale e nei momenti di maggiore crisi idraulica, l'acqua del Tedaldo viene fatta confluire nel F. Morto con scolo meccanico. In questo tratto di territorio è stato accertato un problema di qualità delle acque in quanto gli allagamenti legati ad intense precipitazioni sono prodotti da acque meteoriche miste a reflui fognari.

L'insufficiente capacità di smaltimento delle acque da parte del Tedaldo si riflette in una sofferenza del sistema idraulico cittadino, che causa frequenti allagamenti nei punti più nevralgici, come zona di Via Risorgimento, Via Bonanno, Porta Nuova. In queste aree il deflusso delle acque è inoltre ostacolato anche dalla "barriera" della linea ferroviaria. Ulteriori frequenti allagamenti sono osservati anche nella zona ad Ovest della Ferrovia, detta delle "Sardine" (in "Catallo"), che dipende idraulicamente dal Tedaldo (confronta "Carta delle aree allagabili").

Il deflusso idraulico della zona "servita" da questo fosso potrebbe essere sensibilmente migliorato con la realizzazione di un sistema fognario indipendente dal reticolo superficiale che rimarrebbe dedicato alle acque meteoriche. Per impedire che le acque di fogna si miscelino con quelle della bonifica potrebbe essere realizzato un

canale parallelo al Tedaldo per lo smaltimento dei reflui, che confluirebbe direttamente nel F. Morto con un'idrovora separata da quella di Campaldo. La zona delle Sardine potrebbe essere resa indipendente dal Tedaldo attraverso un nuovo collettore fognario parallelo al "Fosso lungo la Via delle Cascine", con lo stesso recapito finale di quello parallelo al Tedaldo.

Questa ipotesi è supplementare a quella di allacciare le fognature della zona occidentale della città al depuratore esistente di San Jacopo. Il sistema fognario della zona di Campaldino dovrebbe essere allacciato direttamente al depuratore di S. Jacopo. Per migliorare il deflusso delle acque di questo sottobacino dovrebbe inoltre essere aumentata la portata dei singoli canali (risagomatura e/o aumento della pendenza). La zona altimetricamente più depressa del sottobacino di bonifica di Campaldo potrebbe essere utilizzata come zona di espansione preferenziale in grado di ricevere il supero delle acque non smaltito dalla rete ed impedire indesiderati allagamenti nelle aree urbane o suburbane ("aree di espansione controllata della bonifica").

In assenza di specifico trattamento depurativo le acque nere, oltre alle bianche, cioè quelle meteoriche e di "prima pioggia" (queste ultime preventivamente depurate) potrebbero essere convogliate a "vasche di lagunaggio e di riossigenazione", per un pretrattamento di depurazione prima del recapito finale in Fiume Morto, ubicate in una fascia di terreno adiacente all'attuale "Collettore di Campaldo" con impianto idrovoro. Con questa soluzione verrebbe preservata la zona parco.

In caso di crisi idraulica del sistema, le acque del bacino (opportunamente trattate) potrebbero essere recapitate alla zona ad espansione controllata attraverso un'interconnessione (sistema di cateratte) fra collettore di bonifica ed i collettori urbani.

#### INDICAZIONI RELATIVE AL SOTTOBACINO CAMPALDO-TEDALDO-BARBARICINA.

Per la realizzazione degli interventi strutturali sommariamente descritti nel paragrafo e finalizzati al miglioramento idraulico del sottobacino, è necessario salvaguardare alcuni canali più importanti, attraverso fasce di rispetto, e destinare le porzioni di territorio morfologicamente più depresse a zone di espansione controllata.

Le principali linee idrauliche da preservare sono indicate nella cartografia allegata ed interessano tratti del:

FOSSO TEDALDO, FASCIA DI 10 M;

COLLETTORE CAMPALDO, FASCIA DI 100 M;

COLATORE N. 4 DI CAMPALDO RAMO DESTRO, FASCIA DI 10 M;

COLATORE N. 3 DI CAMPALDO RAMO DESTRO, FASCIA DI 10 M;

COLATORE N. 2 DI CAMPALDO RAMO DESTRO, FASCIA DI 10 M (PER LA SOLUZIONE IPOTIZZATA, CONFRONTA PARAGRAFO SUCCESSIVO);

MORTO, FASCIA DI 10 M (GIÀ SOGGETTO A VINCOLO R.D. 523/1904 E R.D. 368/1904 ).

Il territorio da destinare a cassa di espansione controllata della bonifica, e per il quale deve essere previsto il vincolo di salvaguardia e non edificabilità, corrisponde alle aree più depresse del sottobacino.

#### SOTTOBACINO A SCOLO NATURALE DELLA TENUTA DI S. ROSSORE

Questa zona del territorio comunale inserita nel Parco Naturale è soggetta ai relativi vincoli.

La zona è in gran parte costituita da materiali permeabili (sabbie delle dune costiere attuali). Il deflusso delle acque meteoriche è garantito da una serie di canali a scolo naturale che confluiscono direttamente in mare o nel fiume Morto.

Il principale problema idraulico di questo sottobacino è concentrato alla foce del F. Morto, ove il molo destro appare gravemente danneggiato dall'erosione marina, oltre al fenomeno di interrimento della foce.

Il Fiume Morto rappresenta per Pisa e per i Comuni contermini l'asse idraulico principale di drenaggio della pianura a Nord dell'Arno. L'interrimento della sua foce limita fortemente il deflusso delle acque e, di conseguenza, arreca condizioni di sofferenza idraulica alla rete dei tributari minori.

#### SOTTOBACINO DI BONIFICA A SCOLO NATURALE DEL CENTRO STORICO, DI PORTA A LUCCA E DI CISANELLO-PISANOVA

Quest'ampia porzione di territorio comunale, intensamente urbanizzato, grava sull'asse idraulico Fosso dei Sei Comuni- Marmigliano- Oseretto, a cui afferiscono una serie di fossi minori.



La preesistente rete della bonifica è stata inglobata dalla rete fognaria cittadina. Estese tombature ed opere idrauliche succedutesi in modo disordinato nel corso dei decenni, hanno intensamente trasformato l'impianto originario.

Una parte del bacino (zona di Porta a Lucca) è dotata di una rete di fognatura nera allacciata per l'80% al depuratore di S. Jacopo e risulta separata dal reticolo superficiale.

Il resto del bacino è a fognatura mista, e recapita nel Fiume Morto all'altezza di Madonna dell'Acqua, attraverso un percorso lungo e praticamente privo di pendenza.

Il sottobacino è attraversato da un corso artificiale ad acqua alta ("Canale Demaniale di Riprafatta"), che confluisce in Arno all'altezza del Ponte alla Fortezza, restando completamente separato dalla bonifica.

#### SOTTOBACINO DELLA ZONA CENTRO STORICO - PORTA A LUCCA

Gli assi idraulici principali per il deflusso delle acque superficiali sono:

Fosso Marmigliaio;

Fosso Martraversino.

Il primo confluisce nel Fiume Morto passando attraverso l'Oseretto; il secondo confluisce nel F. Morto a Nord della località "Passi".

Il "Fosso Marmigliaio" nasce, poco a Nord di Pisa, immediatamente a monte del suo incrocio con la S.S. 12; esso, che sottopassa il "Canale Demaniale di Riprafatta", raccoglie, nel breve tratto prima del suo imbocco nella zona urbana, le scoline campestri di una porzione di piana compresa in parte fra il F. Morto a Nord e il territorio urbanizzato a Sud. Dal suo ingresso nell'area urbana esso diventa uno scolo fognario perchè raccoglie sia le acque di fogna che gli giungono attraverso il "Fosso dei Sei Comuni" dalla zona di Cisanello - Pisanova, sia quelle del centro storico.

Il deflusso delle acque di una parte di "Porta a Lucca" è rivolto verso il "Fosso Marmigliaio", originariamente regolato da alcune cateratte. La parte più settentrionale invece convoglia le acque verso il "Martraversino", e anche esso è recapito di fognature nere della zona di Via Rosselli.

Il deflusso delle acque nell'area del centro urbano è verso il "Fosso Marmigliaio" attraverso una serie di fossi oggi tombati (confronta fosso adiacente alle mura sul lato Ovest, "Fossa Murata", etc.)

Il deflusso delle acque dal "Marmigliaio"-Oseretto" al F. Morto è ostacolato quando quest'ultimo è in fase di piena. Questo fatto determina situazioni di crisi con conseguenti allagamenti nelle zone scolate dalla linea idraulica in questione ("Via Piave", "Porta a Lucca" e centro storico - cfr in "Carta delle aree allagabili").

Una possibile soluzione potrebbe essere quella di alleggerire il "Marmigliaio", facendo scolare una parte delle acque in uscita dal centro storico in un collettore di nuova costruzione che potrebbe essere identificato con quello parallelo al "Colatore n. 4 di Campaldo - ramo destro" di cui al paragrafo relativo al Bacino di Campaldo, o di costruirne uno parallelo al "Colatore n. 2 di Campaldo - ramo destro", verificando il percorso migliore.

Un'altra zona sofferente riguardo agli allagamenti è la zona di Via Rosselli (confronta "Carta delle aree allagabili") che risulta morfologicamente depressa.

Attualmente le fognature di questa zona recapitano, attraverso le scoline dei campi, nel "Fosso delle Palazzine" e quindi nel F. Morto. Il problema degli allagamenti potrebbe essere risolto localmente in futuro, una volta mandate le fognature al depuratore, con uno scolo meccanico attraverso un impianto idrovoro con recapito finale nel "Martraversino".

#### SOTTOBACINO DELLA ZONA CISANELLO-PISANOVA

Le principali linee idrauliche sono:

Fosso dei Sei Comuni;

Fosso S. Marco.

Il "Fosso dei Sei Comuni" nasce immediatamente a Nord dell'Ospedale di Cisanello, e attualmente raccoglie le acque meteoriche e i reflui non trattati, anche provenienti dall'Ospedale, facendole convogliare nel "Fosso Marmigliaio".

Il "Fosso di S. Marco", che scola la periferia sud-orientale di Pisa, e attualmente confluisce nel "Fosso dei sei Comuni", verrà in futuro deviato attraverso il "Fosso di S. Cataldo" e un collettore parallelo al tratto iniziale del "Fosso dei Sei Comuni" (già esistente) nell'Arno, mediante un impianto idrovoro da relizzarsi nei pressi dell'Ospedale. Questa nuova linea idraulica raccoglierà anche le acque provenienti

dall'area di recente costruzione del C.N.R. di S. Cataldo. Eventualmente potrà essere realizzato anche un depuratore per la rete fognaria di questa zona, con lo stesso recapito finale delle acque meteoriche, cioè in Arno.

In questo modo si potrà alleggerire la rete idraulica (in particolare il "Fosso dei Sei Comuni"), attualmente insufficiente a smaltire le acque meteoriche, vista anche la presenza di numerose zone relativamente depresse occupate da edificato (vedi Carta Altimetrica).

Si dovranno inoltre attivare gli allacci dei collettori fognari, in gran parte già realizzati, agli edifici, recapitando le acque nere all'impianto di depurazione a San Jacopo.

#### INDICAZIONI RELATIVE AI SOTTOBACINI CENTRO STORICO-PORTA A LUCCA-CISANELLO-PISANOVA

Per la realizzazione degli interventi strutturali sommariamente descritti nel paragrafo e finalizzati al miglioramento idraulico del sottobacino, è necessario salvaguardare alcuni canali più importanti, attraverso fasce di rispetto e destinare porzioni di territorio morfologicamente più depresse a zone di allagamento controllato.

Le principali linee idrauliche da preservare interessano tratti del:

Fosso Oseretto, fascia di 10 m;

Fosso Martraversino, fascia di 10 m.

#### ZONA A SUD DELL'ARNO

#### BACINO DI BONIFICA DELLA VETTOLA

Comprende un'area posta al margine sud-occidentale della città. Progettata definitivamente nel 1928, ha un comprensorio di forma subtriangolare (circa 950 ettari) limitato a Nord dal sobborgo di Porta a Mare, dalla strada della Vettola e per un tratto dalla Via D'Annunzio, a Est dal Canale dei Navicelli, a Ovest dalla Via Livornese.

La bonifica comprende i Paduli del Gracitone e della Ballerina, che rappresentano le aree più depresse (quote minori di 0 m s.l.m.), separati dalla Duna di Castagnolo.

L'area è a scolo meccanico delle acque le quali vengono convogliate, attraverso la principale linea idraulica "Fosso Mezzanina Acque Basse" - "ex Navicelli Bonifica" - "Collettore della Vettola" verso l'impianto Idrovoro, dove le acque vengono sollevate nel "Canale Nuovo dei Navicelli".

La principale linea idraulica di questo bacino a scolo meccanico corrisponde al tracciato settentrionale del vecchio "Fosso dei Navicelli", canale costruito nel 1603 da Cosimo I dei Medici.

Tutta l'area in esame è sprovvista di fognatura separata, pertanto è evidente il problema della commistione fra acque di fogna e di bonifica.

In caso di pioggia si hanno episodi di allagamento delle zone più depresse (Gracitone, Ballerina).

#### INDICAZIONI

Per la realizzazione degli interventi strutturali finalizzati al miglioramento idraulico del sottobacino, è necessario salvaguardare alcuni canali più importanti, attraverso fasce di rispetto e destinare porzioni di territorio morfologicamente più depresse a zone di allagamento controllato.

Le principali linee idrauliche da preservare interessano i seguenti fossi:

Fosso Mezzanina - Acque Basse: fascia di 10 m;

ex Navicelli Bonifica: fascia di 10 m;

Collettore della Vettola: fascia di 10 m;

Fosso Gracitone; fascia di 10 m.

Le zone più depresse dei Paduli del Gracitone e della Ballerina dovranno essere preservate per interventi di regimazione idraulica della bonifica (casce di espansione controllata della bonifica)

#### BACINO DI BONIFICA DEL SANGUINETTO

Bonifica a scolo naturale della zona compresa a Nord dalla Via D'Annunzio, a Nord- Ovest dalla Via Livornese fino a S. Piero a Grado, a Sud dalla strada della Vettola.

L'area è morfologicamente più elevata rispetto alle zone adiacenti, con quote comprese fra 2 e 3 m s.l.m.

Tutta l'area è a fognatura mista. Le acque vengono convogliate attraverso il "Fosso del Sanguinetto" e il "Fosso della Mezzanina - Acque Alte" nel "Canale Nuovo dei Navicelli".

#### INDICAZIONI

Fascia di rispetto di 10 m intorno a tutti i fossi

#### BACINO DI BONIFICA DI S. GIUSTO

Bacino di bonifica creato perché, non appena fu posta in esecuzione la sottostante bonifica di Coltano, tutto il territorio ai margini meridionali della città risenti della mancanza di sfogo delle proprie acque nei paduli circostanti. Il progetto definitivo è del 1934.

Il comprensorio della bonifica attuale è delimitato a Nord dalla Via Fiorentina, a Est dalla Via che dalle Bocchette di Putignano, attraverso Ospedaletto va fino alle Rene, mentre a Sud, a Ovest e a Nord-Ovest dal limite dell'aeroporto.

Il territorio bonificato comprende quindi tutta la zona dell'aeroporto, Putignano e S. Ermete.

La bonifica è di tipo meccanico con sollevamento delle acque nel "Canale Nuovo dei Navicelli" all'Impianto Idrovoro dell'aeroporto.

La porzione più meridionale di questa area di bonifica raggiunge quote inferiori allo zero s.l.m.

Tutta l'area è a fognatura mista.

Il deflusso delle acque in uscita dalla città di Pisa a Sud dell'Arno è ostacolato sia dalla barriera della Ferrovia che dall'asse viario della superstrada.

Il Fosso di S. Ermete è un asse importante del sistema idraulico, perché è collettore fognario di Pisa Sud-Est (S. Ermete e Putignano), e al tempo stesso è un canale di bonifica. Le sue acque sono quindi di pessima qualità. Ha attualmente una sezione idraulica insufficiente a smaltire tutte le acque, oltre ad avere un percorso tortuoso. Sono presenti in alcuni suoi tratti fenomeni franosi delle sponde, dovuti alle scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni che esso attraversa (limi e torbe).

Sul margine sud-orientale dell'aeroporto esiste un tratto di un fosso, attualmente dismesso, un tempo a scolo naturale nel "Canale Nuovo dei Navicelli", oggi chiuso nei pressi dell'impianto idrovoro dell'aeroporto. Questo fosso potrebbe essere riattivato sia perché ha una sezione idraulica maggiore del "Fosso S. Ermete", sia perché presenta un percorso meno tortuoso.

Una possibile soluzione per far fronte al problema della commistione di acque di fogna con quelle della bonifica, potrebbe essere quella di utilizzare questo tratto dismesso come collettore fognario verso un nuovo depuratore posto all'incirca nei pressi dell'impianto idrovoro dell'aeroporto, mentre le acque del "Fosso di S. Ermete" potrebbero entrare a far parte della bonifica di Coltano attraverso dei punti di potenziale interconnessione.

In questo modo si alleggerirebbe anche lo scolo delle acque dall'idrovoro dell'aeroporto, facendola funzionare solo come impianto di sollevamento della pista di volo, considerando anche che attualmente il "Mandracchio del Ragnaione", durante i periodi di pioggia, scarica male perché è sottodimensionato.

#### INDICAZIONI

Fosso di S. Ermete: fascia di 10 m.

Collettore in disuso: fascia di 10 m.

In caso di espansione urbana, affrontare preliminarmente il problema idraulico; separare le fognature mandando al depuratore quelle nere, tendere a non saturare con lo sviluppo urbano le porzioni di territorio rimaste libere, per potere eventualmente costruire nuove linee idrauliche in modo da aumentare lo scolo delle acque in uscita da Pisa Sud-Est.

#### BACINO DI BONIFICA DELLE VENTICINQUE

Comprende un'area posta tra il F. Arno a Nord, la bonifica di S. Giusto a Est, l'ultimo tratto del "Canale delle Venticinque" a Sud, il Canale dei Navicelli a Ovest. Il comprensorio è costituito da due bacini a scolo naturale e meccanico:

Bacino a scolo naturale: scola le acque provenienti da Pisa a Sud della stazione (S. Giusto - S. Marco- Via Quarantola) attraverso il "Colatore Sofina- S. Giusto", che circonda il lato Ovest e Nord-Ovest dell'aeroporto e confluisce nello "Scolo di Pisa". Le



acque provenienti da Pisa Sud (a Nord della Stazione) e dalla zona della Saint Gobain confluiscono, attraverso lo “Scolo di Pisa”, nel “Canale Nuovo dei Navicelli”. Lo “Scolo di Pisa” attualmente ha un percorso assai complesso (scola le acque di Via Corridoni, passa sotto la ferrovia fino allo svincolo dell’Aurelia).

Bacino a scolo meccanico: comprende la porzione sud-occidentale del comprensorio di bonifica. La linea idraulica principale è la “Carraia d’Orlando – Canale delle Venticinque” che, passando sotto il “Colatore Sofina - S. Giusto”, confluisce all’idrovoia dell’aeroporto. Tutta l’area è a fognatura mista.

#### INDICAZIONI

Scolo di Pisa : fascia di 10 m per i tratti a cielo aperto

Carraia d’Orlando - Canale delle Venticinque: fascia di 10 m

Affrontare preliminarmente a uno sviluppo urbanistico il problema idraulico

### BACINO DI BONIFICA DI COLTANO

Territorio interessato da vari tentativi di bonifica per colmata avvenuti fin dal lontano passato per il suo stato paludoso (l’esecuzione dei lavori di bonifica meccanica terminò nel 1913).

Comprende il Padule di Coltano e di Stagno. Il comprensorio della bonifica attuale è limitato a Nord dal limite meridionale dell’aeroporto - località Le Rene, a Est dal “Fosso Caligi” - bonifica di Arnaccio, a Sud dalla Fossa Chiara, a Ovest Sud-Ovest dal tracciato autostradale, a Ovest Nord Ovest dal “Canale Nuovo dei Navicelli”.

È attualmente il più grosso comprensorio di bonifica della pianura pisana; comprende due sottobacini:

Sottobacino a scolo meccanico: il più esteso, comprendente i Paduli di Stagno e di Coltano, scolati rispettivamente dal “Collettore dello Stagno”, “Collettore Secondario del Padul Maggiore”, i quali convogliano le acque all’impianto idrovoia del Ragnaione con recapito finale, attraverso il “Mandracchio Ragnaione”, nel “Canale Nuovo dei Navicelli”. L’allineamento “Collettore dello Stagno” - “Colatore n. 7 dello Stagno” (che continua a Sud con il canale “ex Navicelli - Acque Alte” corrisponde al tracciato più meridionale del vecchio “Fosso Navicelli”, originariamente con deflusso verso il mare. Questo sottobacino comprende le aree morfologicamente più depresse e più estese di tutto il territorio comunale (Paduli di Stagno e di Coltano), con quote inferiori a -1 m s.l.m.; inoltre è presente un’altra area depressa con quote intorno allo zero (Paduletto), posta tra il “Canale Nuovo dei Navicelli” e lo svincolo autostradale Pisa Sud. L’area risulta interessata marginalmente sul lato Ovest da due infrastrutture importanti che la attraversano longitudinalmente da Nord a Sud e che sono la ferrovia PI-LI e l’autostrada. L’area dell’ex Padule di Stagno comprende ampie zone soggette ad episodi frequenti di allagamento (confronta “Carta delle aree allagabili”).

Sottobacino a scolo naturale: bacino che comprende la maggior parte della Duna di Coltano, cioè la zona più elevata (escluso il settore più orientale che fa parte della bonifica dell’Arnaccio a scolo naturale), costituita da sabbie, quindi terreni permeabili.

Le acque che non vengono assorbite dalle sabbie defluiscono nei canali di acque alte:

“Allacciante n. 1 dello Stagno”,

“Allacciante sud-ovest del padule Maggiore”,

“Allacciante di Bassanera”.

Questi canali confluiscono, attraverso il “Mandracchio Ragnaione”, nel “Canale Nuovo dei Navicelli”.

#### INDICAZIONI

Fasce di rispetto di 10 m intorno a tutti i seguenti canali

Manzino ovest

Collettore secondario dei Paduli Settentrionali

Collettore principale del Padul Maggiore

Collettore dello Stagno (ex Fosso Navicelli)

Colatore n. 7 dello Stagno

Aree più depresse adibite a casse di espansione controllata della bonifica (aree al di sotto del livello del mare)

### BACINO DI BONIFICA DELL’ARNACCIO

Il comprensorio della bonifica si estende oltre il territorio comunale, e comprende la zona compresa a Est dell'allineamento Strada Putignano - Le Rene - "Fosso Caligi". Il limite Sud è la "Fossa Chiara", il limite Nord è la gola sinistra dell'Arno, il limite Ovest è la bonifica di Coltano e di S. Giusto, il limite Est è la "Fossa Chiara".

Questo territorio ha quote inferiori allo zero nella sua parte sud-occidentale, mentre esse vanno aumentando verso Nord - Est. L'esecuzione dei lavori di bonifica risale al 1933.

Si distinguono due sottobacini:

sottobacino di bonifica a scolo meccanico: limitato a Nord dall'allineamento circa Est-Ovest "Fosso Vecchio di Oratoio" - Fosso Vecchio di Titignano", a Nord - Ovest dal "Fosso Vecchio di Oratoio" e dalla Via Emilia, a Ovest dal "Fosso Caligi", a Sud dalla Fossa Chiara". I vari antifossi convogliano le acque all'idrovora dell'Arnaccio, la quale le immette nella "Fossa Chiara". Un piccolo sottobacino a scolo meccanico nella porzione occidentale del comprensorio di bonifica convoglia le acque, attraverso l'impianto idrovoro di Paludello, nel "Fosso Caligi";

sottobacino di bonifica a scolo naturale: scola le acque che provengono dal territorio a Sud dell'Arno, limitato a sud dal sottobacino di bonifica a scolo meccanico dell'Arnaccio, a Ovest dalla Bonifica di S. Giusto e di Coltano, attraverso una serie di linee idrauliche principali che sono (nel territorio comunale): "Fosso Caligi", "Fosso di Oratoio", "Fosso di Titignano" che confluiscono nella "Fossa Chiara". La zona di Riglione - Oratoio è in piccola parte allacciata al depuratore di La Fontina. Il resto scarica nel "Fosso di Oratoio". La zona industriale di Ospedaletto, essendo invece a fognatura mista, scarica le acque nel "Fosso Caligi". In questa area i problemi di allagamento sono causati dalle acque alte, perché il "Fosso Caligi" e il "Fosso di Titignano" hanno problemi di tracimazione dalle sponde per insufficiente sezione idraulica in caso di eventi piovosi intensi. Questo causa frequenti allagamenti nelle zone più depresse (confronta "Carta delle aree allagabili").

#### INDICAZIONI

Fosso Caligi: fascia 100 m

Fosso Oratoio: fascia 300 m

In questa zona si ritiene di dover porre un'ampia fascia di vincolo intorno al "Fosso di Oratoio", collegandola all'Arno, passando attraverso aree non urbanizzate.

#### BACINO DI BONIFICA DI TOMBOLO

Comprende un'area delimitata a Nord dal Viale D'Annunzio tra la Foce dell'Arno presso Marina di Pisa e l'accesso lungo il Viale D'Annunzio della Strada Provinciale del mare che proviene da S. Piero a Grado, a Est da questa strada che prosegue lungo la Via Livornese fino al "Canale Nuovo dei Navicelli", a Sud-Ovest e a Sud dal "Canale Nuovo dei Navicelli" e dal canale "ex Navicelli Acque Alte" fino al Calambrone, sul lato Ovest dalle dune litoranee fino alla Foce dell'Arno.

Sottobacino di bonifica a scolo meccanico: comprende la porzione più occidentale del bacino di bonifica. In essa una fitta rete di canali recapita le acque in due impianti idrovori, uno posto nei pressi dell'abitato di Marina di Pisa che scola le acque nell'Arno, l'altro nei pressi del Calambrone recapita le acque nel "Canale Nuovo dei Navicelli". Questo sottobacino è costituito dalle aree più depresse dell'intero bacino di bonifica (zone delle "lame") che necessitano di uno scolo meccanico. In questa zona si verificano episodi di ristagno delle acque per difficoltoso drenaggio.

Sottobacino di bonifica a scolo naturale: comprende la restante parte del bacino, che scola le acque in parte nell'Arno (zona più settentrionale), in parte nel Canale Nuovo dei Navicelli (zona più meridionale).

#### 1.4.2 CARTA DELLE AREE ALLAGABILI

Nella Carta delle aree allagabili sono state distinte e cartografate le aree soggette a frequenti esondazioni (golene dell'Arno), le aree soggette a episodi di tracimazione dei canali di bonifica e difficoltoso drenaggio delle acque in caso di eventi piovosi intensi, e le aree soggette a ristagno.

I riferimenti locali a queste aree e ai relativi problemi sono discussi in dettaglio nel capitolo relativo al sistema idraulico. Le notizie sono state raccolte da comunicazioni dell'ufficio Fiumi e Fossi di Pisa, dalla "Carta guida delle aree allagabili"

allegata al progetto di Piano stralcio per la riduzione del rischio idraulico del Bacino dell'Arno e da indagini originali.

#### 1.4.3 BREVE ANALISI STORICA DELLE PROBLEMATICHE LEGATE ALL'ESONDAZIONE DELL'ARNO E AL RISTAGNO DELLE ACQUE

Il territorio della pianura pisana a Sud dell'Arno limitato a Nord dal fiume, a Est dalla Via Emilia, a Sud dalle Colline Livornesi ed a Ovest dalla fascia dunare costiera ha presentato sempre, in epoca storica, problemi di assetto idrologico e idraulico: infatti, a causa della presenza di vaste aree depresse con zone al di sotto del livello del mare, circondate da alti morfologici rappresentati dalle dune attuali e antiche (Castagnolo- Coltano), il deflusso generale delle acque verso il mare è sempre stato difficoltoso, con conseguente ristagno in tutto il territorio e impaludamento delle zone più depresse (Padule di Coltano e di Stagno). A questo quadro si aggiunge il problema dell'esondazione dell'Arno, sia nelle campagne ma anche, e soprattutto, nella città di Pisa.

L'evoluzione geomorfologica più recente della Pianura pisana e la sua configurazione sono state condizionate, almeno fino all'epoca storica, prevalentemente dalle vicende naturali che, dal tardo Pleistocene, accompagnarono il trend della "trasgressione versiliana", legata alla risalita del livello marino dalle quote raggiunte durante la fase di massima espansione della glaciazione wurmiana (più basse di quelle attuali di almeno 100 m), alla quale corrispose quella di massimo eustatismo negativo e della massima regressione marina.

La paleogeografia wurmiana del basso valdarno e delle aree costiere limitrofe può essere descritta sommariamente come una vasta area emersa prossima al mare, ove sedimentavano ghiaie e sabbie fluviali, oggi sepolte a varie profondità, trasportate dal Paleoarno e dal Paleoserchio che percorrendo la zona del bientinese, vi confluiva in corrispondenza dell'abitato di Calcinai. Secondo alcune ricostruzioni già durante il Wurm esisteva un ramo del "Serchio" che proveniva dalla stretta di Ripafratta e che si immetteva nella Pianura a Nord di Pisa.

La risalita del livello marino a partire da circa 18.000 anni fa fino a 5.000 anni fa modificò fortemente la paleogeografia e la sedimentazione di quest'area costiera, che venne in gran parte sommersa dal mare; riflessi molto importanti si verificarono anche nelle zone più interne, condizionandone la sedimentazione e i percorsi degli attuali fiumi principali Arno e Serchio.

E' stimato che nell'età del ferro (IX-VIII sec. a.C.) e fino al II-I sec. a.C. si ebbe la massima estensione della trasgressione versiliana, dopo una fase di minimo eustatico avvenuta circa 3.500 anni fa. La trasgressione marina non oltrepassò, però, nell'area pisana, l'allineamento di dune pleistoceniche, sui cui si attestò un lungo cordone sabbioso che limitava l'area francamente marina a Ovest dalle zone di tipo lagunare o palustre situate ad Est. Tale situazione può essere considerata ancora presente nel II-I sec. a.C.

L'area lagunare più interna doveva essere inizialmente assai estesa; successivamente, per l'accumulo dei detriti trasportati dai fiumi, si frazionò in sottobacini distinti, nel tempo gradualmente trasformati in aree paludose o umide in senso lato.

Nella zona più meridionale (corrispondente al "sinuspisanus" della letteratura), retrostante i rilievi di Coltano-Castagnolo, riversava l'Arno, suddiviso probabilmente in più ramificazioni, delle quali la più meridionale si gettava in mare all'altezza di Stagno (secondo un allineamento da Fornacette verso la zona ancora oggi detta "Arnaccio"), mentre quella più settentrionale sfociava in mare poco più a Sud di S. Piero a Grado, in corrispondenza all'ansa che attualmente attraversa la città di Pisa.

Nella zona più settentrionale, due aree lagunari si trovavano a Nord di Pisa: a oriente la "Laguna di Asciano" o "Laguna Cesana" e a Ovest la "Laguna Fasana" (detta "Paludoseri" o "Paludozzeri" nel Medioevo). Entro questa si riversavano le acque del Serchio ("Auser") attraverso la stretta di Ripafratta, anch'esso con diverse ramificazioni.

Strabone ha descritto intorno al I - II sec. a.C. l'unione in Pisa di un corso d'acqua che ingrossava molto le acque dell'Arno. Tale descrizione sembra avvalorata dagli studi sull'andamento dei meandri abbandonati o sepolti riconosciuti con le fotografie aeree o con le immagini da satellite.



Secondo Borghi (1968) l'allineamento Canale di Ripafratta- Fosso del Marmigliaio potrebbe identificare uno dei rami dell'Auser che nel tratto più meridionale lambiva l'attuale periferia nord-orientale della città.

L'area precedentemente occupata dal mare divenne progressivamente una terra emersa, nonostante il progredire della risalita del livello del mare, a causa della deposizione di grandi quantità di detriti provenienti dall'Arno e dal Serchio, costruendo il territorio dove oggi si trovano Barbaricina, S. Giovanni al Gatano, La Vettola e S. Piero a Grado. L'avanzare della costa ha progredito fino al 1850, dopo questa data cominciano a verificarsi i primi fenomeni di erosione del litorale nella zona di Bocca d'Arno, con l'inizio dello smantellamento del delta fluviale causato dalla diminuzione dell'apporto dei sedimenti, fenomeno che continua tutt'oggi.

#### 1.4.3.1 ANALISI DETTAGLIATA DELLA ZONA URBANA.

Secondo alcuni studi (cfr. in Redi 1991 per la bibliografia) l'attuale ansa urbana dell'Arno, corrispondente al più settentrionale dei tre rami che l'Arno formava in epoca antica, aveva acquisito forma definitiva già al II-III secolo a.C., epoca alla quale si può far riferire la confluenza dell'Auser nell'Arno, nei pressi della quale sorgeva la città di Pisa. Non si sa con certezza quale fosse l'andamento esatto dell'Auser nelle vicinanze di Pisa: secondo alcune ipotesi esso formava nei pressi della città diverse ramificazioni non tutte contemporanee.

L'ampia depressione morfologica situata a Ovest - NordOvest dell'attuale città (il "Paludozzeri" medioevale) corrisponde probabilmente a un'area depressa originata dalle variazioni del corso dell'Auser che, spingendosi verso Ovest, si era staccato guadagnando indipendenza dall'Arno. In ogni caso, come già accennato, il corso principale dell'Auser lambiva in senso E-W il lato settentrionale della città.

L'altra depressione che si insinua nella città da Est-NordEst verso Ovest-SudOvest (all'altezza circa di "Via S. Francesco") rappresentava il prolungamento occidentale di una più ampia area depressa (zona a Nord di Ghezzano): essa potrebbe corrispondere a una zona paludosa di ingressione dell'Auser sul lato orientale della città (cfr. in Redi, 1991).

L'andamento dell'Auser nei pressi di Pisa nei secoli X-XI può essere schematizzato come segue (Redi, 1991): esso penetrava in Pisa da oriente, a Sud della duecentesca chiesa di S. Francesco e si spingeva nel cuore della città all'altezza della attuale Piazza delle Vettovaglie, che rimaneva ad Ovest del corso del fiume. L'attuale "Piazza delle Vettovaglie" costituisce infatti un'isola topografica altimetricamente più elevata (quote di circa 7 m s.l.m.) rispetto alle adiacenti "Via S. Maria" e "Borgo Stretto", che corrispondono a corsi d'acqua, probabilmente non contemporanei, che scorrevano secondo le attuali vie sopra citate. Il corso dell'Auser volgeva poi verso Nord, secondo l'attuale allineamento "Borgo Stretto"- "Borgo Largo" e, voltando verso Ovest tra le Terme di Porta a Lucca e la chiesa di S. Caterina, si riallacciava al percorso principale E-W S.Zeno-S. Stefano, formando con un ramo un meandro che lambiva a Sud la Cattedrale (ansa di "Catallo"), con un altro si spingeva più a Sud e circondava il "Paludozzeri". Quindi, volgendo verso Nord, sfociava in mare in prossimità delle dune della Sterpaia.

In tempi successivi furono scorciate sia l'ansa che lambiva a Sud la Cattedrale, sia quella più meridionale che lambiva Barbaricina, sia quella orientale, rettificando in senso E-W il percorso dell'Auser, che rimase a lambire la sola parte settentrionale della città, lasciando zone impaludate nelle anse abbandonate. Il processo di interrimento della vasta laguna a Sud-Ovest della città ("sinuspisanus") e del "Paludozzeri" a Nord-Ovest della città, cominciò intorno al 1000, sicuramente in relazione alle aumentate alluvioni dell'Arno e del Serchio. Già agli inizi del XII secolo essa era in via di restringimento (cfr. in Redi, 1991), anche se esistono ancora nella prima metà del 1300 negli statuti comunali disposizioni sull'opera di bonifica del "Paludozzeri". All'estremità orientale del "Paludozzeri" esisteva la "Fossa Flumina" (l'attuale "Via Roma"), fossa di bonifica di tale palude in via di estinzione già nei primi anni del 1100. La palude orientale era già stata, invece, in buona parte prosciugata già agli inizi dell'XI secolo. La "Fossa Bandi", toponimo citato intorno ai sec. X-XI nella zona sudorientale della città, indica un fosso di bonifica della palude orientale. Il prosciugamento delle paludi a Ovest e a Nord della città fu invece più tardo. A Sud dell'Arno, la spiaggia del primo meandro urbano compresa fra la prima strada di accesso da Sud-Est (attuale "Via S. Martino") e il fiume (chiamata "Guatholongo" in

riferimento agli impaludamenti causati dalle continue ingressioni di acque dall'Arno), è recuperata alle culture e agli insediamenti già nel XI secolo, mentre rimane la palude nel territorio posto a Sud di tale zona. Intorno alle mura urbane dovevano esistere, già prima della loro edificazione, dei fossati denominati "Barbacane": di essi oggi non restano quasi tracce, essendo stati interrati per impiantarci strade di circonvallazione. Questi fossati (citati negli Statuti Comunali del 1286 con i termini "Fosso della città" o "del Comune" o "di Ripadarno" - cfr. in Redi, 1991 per la bibliografia specifica) avevano, oltre a scopo difensivo, anche una funzione di raccolta delle acque di scolo della città, e le convogliavano nell'Arno attraverso condutture minori o chiaviche.

Il percorso dell'Arno al di fuori della parte urbana di Pisa dall'età imperiale al Medioevo, il cui corso è attestato sia dalle foto aeree (Della Rocca et al. 1987) sia dalla toponomastica medievale (Ceccarelli Lemut&Pasquinucci, 1991), appare abbastanza diverso dall'attuale, ma sostanzialmente stabile durante questo periodo. Il fiume seguiva probabilmente un andamento meandriforme secondo una direttrice Putignano- Titignano-Visignano-S. Prospero.

Per quello che riguarda la difesa dalle esondazioni dell'Arno i primi interventi risalgono alle arginature dell'asta fluviale, probabilmente relative al ramo più settentrionale (Della Rocca et al., 1987), cioè quello che passava attraverso l'attuale ansa urbana. Questa modifica dell'asta settentrionale dell'Arno ha sicuramente determinato, lungo i rami più meridionali, un "disordine" idraulico con conseguente impaludamento di questi tratti.

Anche la deviazione dell'"Auser" nell'alveo attuale (Miracolo di San Frediano, Vescovo di Lucca, del VI sec.), con conseguente abbandono del tratto da Gello a Pisa, probabilmente è stata un'operazione idraulica secondo la quale si sarebbe ottenuto il vantaggio di allontanare da Pisa, già sottoposta alle piene dell'Arno, le acque del Serchio, prosciugando inoltre tutta la pianura compresa fra l'attuale Serchio e Pisa.

Le paludi attorno alla città devono avere servito come bacini di compensazione per le piene dell'Arno, cosicché Pisa potesse risentirne in misura minore.

In epoca comunale la Pianura di Pisa appare già solcata da una fitta rete di fossi di scolo.

Il Fiume Morto Vecchio, nel tratto più occidentale (su terreni più recenti del II-I sec. a.C.) corrisponde a un paleoalveo del Serchio al quale, in epoca comunale, era già collegato tutto il sistema dei fossi che drenavano la pianura di Pisa a Nord dell'Arno.

Sono del secolo XI-XII i primi riferimenti alla "Fossa Cuccia", fosso della pianura settentrionale pisana, ancora esistente, che anticamente sfociava nell'Arno mentre attualmente sfocia nel Fiume Morto Nuovo, al "Fiume Morto", al "Fosso Torale".

Anche il "Fosso dell'Arnaccio" doveva già esistere in questo periodo perché già veniva usato per allentare il danno alla città di Pisa facendovi traboccare le acque dell'Arno e allo stesso tempo, per colmare i bassifondi della pianura meridionale pisana ("Padule Maggiore" e "Padule di Stagno"). Il "Fosso dei Pratacci" che andava verso La Vettola, l'Arnonico" o "Rinonico", la "Fossa Fagiana" sono corsi d'acqua ricordati negli statuti fra il 1000 e il 1300.

Nessuno di questi canali scaricava le acque nell'Arno, che già in questo periodo era più alto della pianura almeno fino alla città di Pisa. La fitta rete di canali faceva confluire le acque a Nord nel Fiume Morto e a Sud, all'altezza del Calambrone, nel mare. Insieme alla manutenzione di questa rete si collocano, sempre in epoca comunale, anche le disposizioni rivolte alla difesa e al restauro delle fosse di scolo, mediante le quali si cercò di provvedere al prosciugamento delle terre più depresse sia nei dintorni della città, sia nelle zone più paludose esterne all'area urbana.

La manutenzione delle opere idrauliche e le bonifiche operate nel tempo corrispondono sempre a fasi storiche di "buon governo" che si contrappongono a quelle in cui si è operato un progressivo degrado idrogeologico con conseguente riallagamento delle paludi.

Le più importanti modifiche al tracciato fluviale dell'Arno avvennero solo all'inizio dell'età moderna, cioè quando si verificò un progressivo degrado idrogeologico che portò alle sistemazioni idrauliche realizzate con il governo dei Medici a partire dalla seconda metà del 1500, anche se già in epoca medioevale (anno 1338) erano state rettifiche le anse dell'Arno presso S. Piero a Grado, la Vettola e S. Rossore.

In epoca medicea furono realizzati scolmatori dell'Arno prima a Putignano (1558) e poi a Fornacette (1568). Questi fossi raccoglievano le acque torbide dell'Arno in piena attraverso la tracimazione da un tratto di argine appositamente attrezzato con cateratte, e le convogliavano verso casse di colmata (Padule di Stagno e di Coltano), con lo scopo di far decantare sul fondo le parti solide, procedendo così a una colmata progressiva delle paludi.

Come tecnica di difesa diretta dalle esondazioni vengono completati gli argini: nel 1616 sono completamente arginate le sponde dell'Arno da Pontedera a Pisa in sinistra, da Caprona a Pisa in destra (Mazzanti et al., 1986). Vengono abbandonati i trabocchi con gli scolmatori perché poco risolutivi per le piene e disastrosi per le campagne (Della Rocca et al., 1987).

Nel 1606 venne terminato il "Taglio Ferdinando", cioè lo spostamento della foce dell'Arno verso Nord, disponendola da libeccio a maestrale, per far defluire meglio le acque del fiume in piena durante le mareggiate.

Nel 1700 compaiono le teorie della bonifica integrale, cioè integrare i prosciugamenti dei paduli con le attività produttive. Le bonifiche vengono eseguite con raffinate tecniche di colmata. Le "acque alte", acque torbide che provengono dalle colline, vengono separate dalle "acque basse", prive di torbide in quanto piovute o di falda.

Il periodo contemporaneo, con l'avvento dei motori e la loro applicazione alle pompe idrauliche, permette il sollevamento meccanico delle acque, con prosciugamento per "esaurimento meccanico". Entro la fine del 1930 vengono prosciugati gli ultimi paduli (nel territorio comunale pisano: "Padule Maggiore", "Padule della Ballerina", "Padule di Stagno"). Vengono scavati ulteriori fossi, molti su tracciati antichi, altri quasi totalmente diversi come il "Nuovo Canale Navicelli", che a differenza del "Fosso Navicelli" (con funzioni commerciali) è stato (ed è attualmente) il ricettore di tutta la bonifica della Pianura Pisana a Sud dell'Arno.



1.4.3.2 INONDAZIONI DELLA CITTÀ DI PISA (E DELLA SUA CAMPAGNA) FIASCHI, 1938 - NATONI, 1944

| DATA              | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                  | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                                                                         | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                                                                                                       | DESCRIZIONE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   | a<br>1 Molino<br>della<br>Porta alle<br>Piagge<br>(NATONI,<br>1944) m | all<br>a Cataratta<br>del Sostegno<br>(NATONI,<br>1944) m.<br>Letture<br>eseguite<br>all'idrometro<br>installato<br>nel 1828 | alla<br>Cataratta del<br>Sostegno<br>(NATONI,<br>1944) m.<br>Altezze<br>riportate allo<br>zero<br>dell'idrometro<br>installato<br>nell'ottobre<br>del 1870 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1162              |                                                                       |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            | Si narra che in questo anno l'Arno uscì dal suo alveo per ben nove volte sommergendo la pianura fino a Triturrita (l'attuale Tirrenia), abbattendo il ponte sull'antica via Emilia che allora traversava lo Stagno.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 1288              |                                                                       |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            | Danni a Firenze e Pisa. Inondazioni quasi ogni anno fino a quella eccezionale del 1333.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1333 (1 dicembre) |                                                                       |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            | Diluvio su tutta la Toscana. Pisa sarebbe stata completamente sommersa, se non che l'Arno sboccando nel Fosso di Arnaccio per il Borgo delle Capanne giunse allo Stagno.. "L'impeto delle acque fu tanto copioso e violento che lo Stagno si aprì una foce al mare e forse allora si generò lo sbocco detto poi del Calambrone. Con tutto ciò la città fu tutta allagata ..... e guastò tutto il piano di Valdiserchio e intorno a Pisa" [VILLANI GIOVANNI - Cronica. Firenze, Mogheri, 1823]. Grandissimi danni dovuti alla perdita del bestiame, case, masserizie, e vittime. Le sementi andarono perdute, anche per il deposito della belletta che l'inondazione pose sul terreno per uno spessore di due braccia, che andò a riempire per buona parte stagni e paduli [STEFANI MARCHIONNE DI COPPO - Istoria Fiorentina. Firenze, G. Cambiagi, 1770 - 1789]. Bisogna tenere presente che l'Arno scorreva a Pisa tra due ripe erbose, basse e irregolari. Le case, prospicienti al fiume, non avevano riparo, e i muriccioli, costruiti qua e là fino da antichissimi tempi, servivano solo per sostenere qualche punto franoso del terrapieno e gli scali per gli approdi delle piccole navi e navicelli. Col tempo vennero costruiti i muraglioni di sponda che vennero rialzati fino a raggiungere il limite attuale, e con essi vennero rialzati anche i livelli stradali dei Lungarni "e quello delle sponde prossime si che Pisa venne ad avere, senza discontinuità con gli argini creatisi sulla campagna, una sua più sicura difesa" [FIASCHI R., 1938]. Basta in effetti esaminare le fondazioni delle vecchie case poste sul Lungarno, l'inclinazione stradale che dalle spallette scende verso la città per rendersi conto di quanto si è elevata artificialmente la riva del fiume e, conseguentemente, il piano della città. |
| 1547              |                                                                       |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            | Piena paurosa (definita dall'Ammirato nelle sue "Istorie Fiorentine" come "insigne")                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1557              |                                                                       |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            | L'Adriani [ADRIANI GIOV. BATTISTA - Istorie de' suoi tempi. Firenze, i Giunti, 1583] descrive una paurosa piena dell'Arno: "e in Pisa arrivò, ma il danno vi fu minore, essendosi per l'ampiezza dei piani, rotti ripari ed argini, molto allargata". La piena allagò tutta la campagna e la belletta riempi i fossi costruiti per tenere asciutti i luoghi paludosi. Tutta la pianura si rialzò per i rilevanti depositi di materiali. Anche i pozzi rimasero pieni di terra. La terra si dovette togliere dalle vie con carri e carrette [Fiaschi 1938, pag. 158-159]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1589              |                                                                       |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            | In una lettera di Scipione Ammirato al Sig. Vittorio Orsini, Duca di Bracciano (da Firenze, il 15 novembre 1589): "Stimasi dalla banda di sotto che sarebbe allagata tutta la città di Pisa, se prima che ad essa si avvicinasse non fusse l'acqua entrata nel fosso, e per esso starsene a trovare stagno, che le scampò questa furia". Altra piena paurosa in cui "Pisa scampò a questa furia".                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 1671 (9 maggio)   |                                                                       |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            | Da un libro che raccoglie le "Copie di relationi" del 1670 fino al 1677 dell'ingegnere Giuseppe Santini: "L'ultima piena dell'Arno ruppe e traboccò l'arginello delle Fornacette correndo per la campagna della Val d'Arno".                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 1674 (19 marzo)   |                                                                       |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            | Da un libro che raccoglie le "Copie di relationi" del 1670 fino al                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

| DATA              | ALTEZZE DELLE PIENTE IN PISA                         | ALTEZZE DELLE PIENTE IN PISA                                                                     | ALTEZZE DELLE PIENTE IN PISA                                                                                              | DESCRIZIONE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                   | alla Molino della Porta alle Piagge (NATONI, 1944) m | alla Cataratta del Sostegno (NATONI, 1944) m. Letture eseguite all'idrometro installato nel 1828 | alla Cataratta del Sostegno (NATONI, 1944) m. Altezze riportate allo zero dell'idrometro installato nell'ottobre del 1870 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                   |                                                      |                                                                                                  |                                                                                                                           | 1677 dell'ingegnere Giuseppe Santini: "Occorre riparare il danno che fece l'ultima piena all'arginello del Trabocco dell'Arno in quanto gemica ed è probabile che si apra senza necessità: occorrerà rialzarlo".                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 1675 (13 maggio)  |                                                      |                                                                                                  |                                                                                                                           | In una relazione del 14 maggio 1675 [ARCHIVIO FIUMI E FOSSI. REGISTRO A. - Copie di relationi. del 1670 fino al 1677] l'ing. Santini narra ai Sigg. Commissari ed Officialide'Fossi come, per la crescita che faceva l'acqua dell'Arno il dì 13 del presente mese, si recasse a visitare l'argine in sinistra del fiume da Porta Fiorentina a Fornacette "dove è solito tagliare l'argine quando l'acqua di Arno trabocca detto Arginello"; e come "l'acque dell'Arno trabocassero in più parti" ed aveva disposto perchè i caporali d'argini provvedessero con diligenza a far rialzare l'argine ove fosse necessario. Avvicinandosi alle Fornacette aveva trovato la situazione sempre più grave traboccando l'acqua da più parti con grave danno alla campagna e con il pericolo che gli argini si rompessero ed aveva appreso che "alle Fornacette non era tagliato l'arginello solito a tagliarsi perchè gli huomini di Cascina non volevano". Arrivato alle Fornacette aveva trovato "che l'arginello al Trabocco in cambio di essere tagliato era stato rialzato più di mezzo braccio e per tale rialzamento d'acqua si vedeva che l'Arno traboccava per tutto, e particolarmente verso il Pontedera". Dopo avere ordinato l'apertura del Trabocco, l'acqua scemò anche se, per causa del rialzamento dell'argine del trabocco, erano successi danni coniderevoli come la rottura dell'argine a Caprona e in diversi altri luoghi. Il Santini, rivolto ai Magistrati, avvertiva "che se Lor Sig.ri Ill.mi permettano questa novità ne seguirà danni considerabili e non occorrerà andare a difendere l'argini d'Arno; perchè chiaramente si è visto che a ritenere le acque al Trabocco, traboccano gli argini in molti luoghi, a segno che l'Arno si volterà per qualche altra parte ...". |
| 1675 (10 giugno)  |                                                      |                                                                                                  |                                                                                                                           | Da un libro che raccoglie le "Copie di relationi" del 1670 fino al 1677 dell'ingegnere Giuseppe Santini: "Con l'ultima piena che venne l'Arno trabocco a segno che bisognò tagliare l'arginello del Trabocco alle Fornacette ov'è necessario risanirlo ed accomodare la strada contigua".                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1676 (2 novembre) |                                                      |                                                                                                  |                                                                                                                           | Da un libro che raccoglie le "Copie di relationi" del 1670 fino al 1677 dell'ingegnere Giuseppe Santini: "L'arginello del Trabocco è rovinato ed è stato portato via dalla piena dell'Arno. E' necessario rifarlo prima che piene ordinarie possano inondare la campagna del Val d'Arno ....".                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 1680 (19 maggio)  |                                                      |                                                                                                  |                                                                                                                           | Famosa piena dell'Arno che superò le spallette di un mezzo braccio, furono così rialzati i muri di sponda al fiume dentro la città e degli argini nella campagna. In una lettera dell'Ing. Francesco Gaeta di Pisa, inviata in data 17 luglio 1680 a Monsignore Mariani, Spedalingo di S. Maria Nuova in Firenze, viene descritto l'incubo dei cittadini pisani riguardo alle inondazioni che avvenivano quasi sempre nel modo come narrato di seguito: "...viddensi alzate le acque sopra le sponde dell'Arno dalla parte di S. Maria circa a mezzo braccio; nel principio del qual alzamento avendo la rapidissima corrente del fiume fatto breccia, e rovinata la sponda sopra del Ponte ( a Mare) in distanza di braccia 90 continuò, non ostante la rottura, il traboccare di quelle dalle 24 alle 13 del giorno seguente, spargendo tant'acqua per la Città meridionale, che pochi passi poteansi fare a piedi asciutti. Le chiaviche non potendo digerire le acque solite scolare verso le Campagne, rivoltando il loro naturale declivio dentro la Città univansi, e concordi spandevansi nelle parti più basse, e remote vedendosi le strade                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

| DATA               | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                     | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                                                                         | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                                                                                                       | DESCRIZIONE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    | alla<br>1 Molino<br>della<br>Porta alle<br>Piagge<br>(NATONI,<br>1944) m | all<br>a Cataratta<br>del Sostegno<br>(NATONI,<br>1944) m.<br>Letture<br>eseguite<br>all'idrometro<br>installato<br>nel 1828 | alla<br>Cataratta del<br>Sostegno<br>(NATONI,<br>1944) m.<br>Altezze<br>riportate allo<br>zero<br>dell'idrometro<br>installato<br>nell'ottobre<br>del 1870 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                    |                                                                          |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            | intiere ripiene d'acqua dall'una e dall'altra casa, tal fu quella di S. Maria, la Nuova, S. Andrea, e tutta la parte adiacente dal Borgo allo Scolo vicino a S. Francesco, nel qual luogo non terminò all'altezza di braccia tre, nè passò illesa la Chiesa, dentro la quale alzossi più di braccia uno e mezzo, allagando tutto il convento. Lambi il terzo scalino della Chiesa Primaziale, alzandosi verso lo Spedal Nuovo braccia due e cozzando assieme con quelle della Campagna, che velocissime entrarono per la Porta Nuova, et avendo rivoltato il suo corso lo scolo di S. Niccolajo e le due strade Nuove, e S. Maria ecc. si gettò sopra l'Arsenale, et orti vicini, dove fece danni grandissimi".                                                          |
| 1687 (25 gennaio)  |                                                                          |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            | Dal Diario del Bonazzini, Ms in Firenze, nella Lib. Magl. "nella notte precedente cominciò a crescere l'acqua dell'Arno, nelle 18 ore di detto di fu necessario in Pisa spedir gente agli argini...".                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 1688 (12 dicembre) |                                                                          |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            | Tommaso Perelli riferisce che "nel qual giorno la campagna da Pisa a Firenze fu intieramente sott'acqua                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 1698               |                                                                          |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1705               |                                                                          |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1714               |                                                                          |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1719               |                                                                          |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1740 (3 dicembre)  |                                                                          |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            | Grazie al Trabocco delle Fornacette la città di Pisa non fu sommersa dalle acque (già nel novembre dello stesso anno l'Arno ruppe gli argini a Pontedera inondando la campagna fino a Livorno, depositando gran quantità di belletta, e facendo restare per lungo tempo quei terreni allagati). Questa piena, che arrecò grandi danni all'abitato di Firenze e alle campagne del Valdarno Superiore e medio, passò invece in modo innocuo per Pisa e le sue campagne in conseguenza sia delle inondazioni verificatesi nella vallata superiore, sia del limitato contributo arrecato alla piena dall'Ombrone, dall'Elsa e dall'Era, sia, infine, dell'entrata in funzione del Trabocco delle Fornacette avendo la piena rotto da sè l'argine del Trabocco (Perelli ....) |
| 1745               |                                                                          |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1758               |                                                                          |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1761               |                                                                          |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            | Così descritta dall'Ingegnere Angelo Mascagni, dello Scrittoio delle Imperiali Possessioni: ".....per la qual cosa in detta città giunse a traboccare in alcuni luoghi la sponda di su la parte destra del corso, quantunque tanto essa, che l'altra opposta sponda di su la sinistra fossero state fatte opportunamente rialzare circa braccia uno di ragguagliato dai Ministri di quell'Ufizio dei Fossi, fatti cauti dalla grande escrescenza del 1758 nè valse a impedire questo Trabocco il taglio, che allora fu fatto fare, più per compiacere al popolo tumultuante che perchè fosse il sentimento e il consenso delle persone più perspicaci, nell'argine, che forma l'intestatura d'Arnaccio alle Fornacette".                                                 |
| 1762               | 7.53                                                                     |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1764               | 6.92                                                                     | 5.08                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1765               | 6.42                                                                     | 4.58                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1770               | 7.56                                                                     | 5.31                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1776               | 6.89                                                                     |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1777               | 7.85                                                                     | 5.90                                                                                                                         |                                                                                                                                                            | Natoni (pag. 106) Dopo questa grande piena che provocò una nuova inondazione dell'abitato di Pisa furono rialzate le difese murate entro la città. Ma parve che tale rialzamento fosse ritenuto eccessivo, tanto che nel 1836 le difese stesse vennero abbassate di circa 80 cm (cfr. bibl. Natoni : Ing. Faustino Cerri)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 1794 (ottobre)     | 7.27                                                                     | 5.84                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1803               | 7.76                                                                     | 5.81                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |



| DATA                     | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                  | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                                                                         | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                                                                                                       | DESCRIZIONE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          | a<br>1 Molino<br>della<br>Porta alle<br>Piagge<br>(NATONI,<br>1944) m | all<br>a Cataratta<br>del Sostegno<br>(NATONI,<br>1944) m.<br>Lecture<br>eseguite<br>all'idrometro<br>installato<br>nel 1828 | alla<br>Cataratta del<br>Sostegno<br>(NATONI,<br>1944) m.<br>Altezze<br>riportate allo<br>zero<br>dell'idrometro<br>installato<br>nell'ottobre<br>del 1870 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1804                     | 6.92                                                                  | 4.99                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1805                     | 6.98                                                                  |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1807 (settembre)         | 6.98                                                                  | 5.14                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1809(dicembre)           | 7.27                                                                  | 5.31                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1823                     | 7.18                                                                  |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1830 (14-29<br>dicembre) |                                                                       | 5.40                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1839 (settembre)         |                                                                       |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            | Piena straordinaria                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| 1840 (19 dicembre)       | 7.01                                                                  |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            | Natoni (pag. 106) Nel 1840 vennero iniziati i lavori con i quali fu resa uniforme e proporzionata la sezione dell'Arno e furono difese le sponde in modo da evitare le corrosioni che sino ad allora si verificarono, pur mantenendo al corso d'acqua le sue tortuosità esistenti a monte di Pisa (cfr. Materassi) Con la nuova riorganizzazione arginale vennero però sottratte alla espansione delle acque di piena notevoli estensioni di zone golenali. Questa modificazione nel tronco d'Arno immediatamente a monte dell'abitato di Pisa , unitamente ai lavori di sistemazione avvenuti nei tronchi superiori, provocarono una notevole variazione del regime delle piene con evidente peggioramento della sicurezza delle difese idrauliche del tronco inferiore dell'Arno e specialmente delle difese murate dell'abitato di Pisa, che in quell'epoca consistevano in parapetti in struttura laterizia di altezza variabile secondo il livello delle strade che costeggiano il fiume |
| 1841 (12 gennaio)        | 6.71                                                                  | 4.85                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1844 (28 febbraio)       | 6.77                                                                  | 5.34                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1844 (3-4 novembre)      |                                                                       | 5.43                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1845 (21 gennaio)        | 6.77                                                                  | 5.08                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1846 (28 novembre)       |                                                                       | 5.25                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1851 (9 novembre)        | 6.92                                                                  | 5.72                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1855 (6 febbraio)        | 7.30                                                                  | 5.72                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1855 (14 febbraio)       | 7.30                                                                  | 5.84                                                                                                                         |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1859                     |                                                                       | 5.84                                                                                                                         | 5.24                                                                                                                                                       | la 1° colonna di Pisa Sostegno si riferisce alle letture eseguite all'idrometro installato nel 1828; la 2° colonna si riferisce alle altezze riportate allo zero dell'idrometro installato nell'ottobre del 1870. Lo zero dell'idrometro impiantato nel 1870 ha quota più alta di metri 0.60 dello zero dell'idrometro precedentemente in funzione                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 1860 (25 novembre)       |                                                                       | 5.95                                                                                                                         | 5.35                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1862 (30 marzo)          |                                                                       | 5.31                                                                                                                         | 4.71                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1862 (1 novembre)        |                                                                       | 5.25                                                                                                                         | 4.65                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1863 (18 gennaio)        |                                                                       | 6.10                                                                                                                         | 5.50                                                                                                                                                       | grossa piena descritta da Maurizio Brighenti e Luigi Pacinotti (Natoni 38) nella quale l'abitato di Pisa subì ingenti danni, mentre le campagne rimasero immuni soprattutto per l'alacre opera degli addetti alla sorveglianza delle arginature.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 1863 (14 novembre)       |                                                                       | 5.31                                                                                                                         | 4.71                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1864 (25 febbraio)       |                                                                       | 5.25                                                                                                                         | 4.65                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1864 (6-7 settembre)     |                                                                       |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1864 (6 novembre)        |                                                                       | 6.13                                                                                                                         | 5.53                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1864 (15 novembre)       |                                                                       | 5.25                                                                                                                         | 4.65                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1864 (10 dicembre)       |                                                                       | 6.13                                                                                                                         | 5.53                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1866 (9 marzo)           |                                                                       | 5.43                                                                                                                         | 4.83                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1866 (21 marzo)          |                                                                       | 5.25                                                                                                                         | 4.65                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1868 (23 settembre)      |                                                                       | 5.52                                                                                                                         | 4.92                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1868 (4 ottobre)         |                                                                       | 5.60                                                                                                                         | 5.00                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1869 (2 dicembre)        |                                                                       | 6.10                                                                                                                         | 5.50                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

| DATA               | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                     | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                                                                         | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                                                                                                       | DESCRIZIONE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    | alla<br>1 Molino<br>della<br>Porta alle<br>Piagge<br>(NATONI,<br>1944) m | all<br>a Cataratta<br>del Sostegno<br>(NATONI,<br>1944) m.<br>Letture<br>eseguite<br>all'idrometro<br>installato<br>nel 1828 | alla<br>Cataratta del<br>Sostegno<br>(NATONI,<br>1944) m.<br>Altezze<br>riportate allo<br>zero<br>dell'idrometro<br>installato<br>nell'ottobre<br>del 1870 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 1869 (10 dicembre) |                                                                          | 6.22                                                                                                                         | 5.62                                                                                                                                                       | <p>Inondazione della città di Pisa provocata dal sormonto dei parapetti e dal crollo in un tratto di circa 60 metri di lunghezza di parapetto in sinistra tra il Ponte della Fortezza e quello di Mezzo, il che dette luogo a perdite anche di vite umane. Crollò inoltre anche il Ponte a Mare e si manifestarono gravi lesioni ad alcuni archi ed a una pila del Ponte della Fortezza, sì che le comunicazioni fra le due parti della città si ridussero al solo Ponte di Mezzo. La commissione Tecnica nominata dal Ministero dei Lavori Pubblici allo scopo di studiare e proporre lavori necessari per assicurare la tranquillità all'abitato di Pisa, la quale presentò la sua relazione in data 5 maggio 1870, nei riguardi del tronco d'Arno sopra Pisa propose di migliorare e consolidare alcuni tratti di difese idrauliche che presentavano deficienza di robustezza e di altezza rispetto alle piene e di far rimuovere sia gli arginelli longitudinali che i privati costruivano nelle golene a difesa delle piene ordinarie, sia, e soprattutto, gli argini trasversali che impedivano il corso laterale del fiume e nelle congiunzioni mettevano in maggior cimento lo'argine principale. La rimozione di tali impedimenti nelle golene doveva avere lo scopo di impedire o almeno ritardare il deposito nelle golene stesse delle torbide trasportate dalle piene; deposito che aveva come conseguenza il rialzo del piano di golena e la diminuzione dell'ampiezza della sezione fluente del corso d'acqua. Circa le opere da eseguire nel tronco d'Arno entro l'abitato di Pisa fu ritenuto necessario proporre:</p> <p>a) il riordinamento dei muri di sponda. Questi muri in destra tra lo Scalo Roncioni e il Palazzo Reale e in sinistra a valle di Ponte di Mezzo erano in critiche condizioni, scollegati e scalzati e privi di base che qualcuno di essi si sarebbe detto di aggravio più che di sostegno. Anche altri tratti presentavano poca stabilità specialmente nelle fondazioni. La loro ricostruzione sarebbe dovuta avvenire abolendo gli esistenti viziosi angoli salienti e rientranti e ordinando i nuovi muri di sponda in regolari curve e rettifili tangenzialmente tra loro uniti.</p> <p>b) La costruzione dei parapetti sui nuovi muri di sponda con altezza sulla massima piena sino a allora verificatasi e tali da dare affidamento per il contenimento delle allora ritenute possibili maggiori piene.</p> <p>c) La costruzione di un nuovo ponte sull'Arno, in continuazione di quello di Porta a Mare crollato.</p> <p>d) Riparazione del Ponte della Fortezza che aveva avvallata la prima pila da sinistra, due archi pericolanti di cui uno in parte rovinato, ritenendo comunque che , anche riparato, tale ponte sarebbe stato sempre di ostacolo al libero deflusso delle acque e avrebbe continuato a provocare un notevole rincollo pericolosissimo per la campagna superiore quando le acque di piena, coperte totalmente le luci del ponte, sorpassano le sue spallette. Per tale ragione la Commissione suggerì di costruire un nuovo ponte, in sostituzione di quello della Fortezza, in un tratto più a monte e in corrispondenza del piazzale antistante il Politeama.</p> <p>e) ampliamento dell'alveo in corrispondenza del taglio eseguito per la eliminazione del taglio di Barbaricina; lo sgombrò di ridossi esistenti nell'alveo del corso d'acqua tra Pisa e lo sfocio in mare; la regolarizzazione della scarpa delle ripe e l'ampliamento delle golene allontanando verso campagna gli argini principali e abolendo, anche qui, gli esistenti argini trasversali. I nuovi argini, di cui quello in sinistra doveva essere costituito dalla strada che avrebbe congiunto Pisa con il suo sobborgo di</p> |

| DATA                  | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                  | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                                                                          | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                                                                                                       | DESCRIZIONE                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       | a<br>1 Molino<br>della<br>Porta alle<br>Piagge<br>(NATONI,<br>1944) m | all<br>a Cataratta<br>del Sostegno<br>(NATONI,<br>1944) m.<br>Lettture<br>eseguite<br>all'idrometro<br>installato<br>nel 1828 | alla<br>Cataratta del<br>Sostegno<br>(NATONI,<br>1944) m.<br>Altezze<br>riportate allo<br>zero<br>dell'idrometro<br>installato<br>nell'ottobre<br>del 1870 |                                                                                                                                                                                                       |
|                       |                                                                       |                                                                                                                               |                                                                                                                                                            | Marina, dovevano essere convergenti verso lo sbocco in mare per conseguire una depressione del livello di piena dovuta a una maggiore efficacia della chiamata allo sbocco. (Natonì, 1944 - pag. 107) |
| 1869 (22 dicembre)    |                                                                       | 5.84                                                                                                                          | 5.24                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1869 (dicembre)       |                                                                       | 5.49                                                                                                                          | 4.89                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1870 (11 gennaio)     |                                                                       | 5.78                                                                                                                          | 5.18                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1870 (19 novembre)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.20                                                                                                                                                       | Da questa data le letture sono eseguite al nuovo idrometro                                                                                                                                            |
| 1870 (27 dicembre)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.23                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1872 (14 ottobre)     |                                                                       |                                                                                                                               | 5.45                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1875 (3-4 dicembre)   |                                                                       |                                                                                                                               | 5.27                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1876 (22 dicembre)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.10                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1877 (18 aprile)      |                                                                       |                                                                                                                               | 5.20                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1881 (6 gennaio)      |                                                                       |                                                                                                                               | 5.05                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1887 (24 dicembre)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.25                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1888 (16 febbraio)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.05                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1892 (15 marzo)       |                                                                       |                                                                                                                               | 5.15                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1896 (8-9 novembre)   |                                                                       |                                                                                                                               | 5.00                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1896 (7-8 dicembre)   |                                                                       |                                                                                                                               | 5.15                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1896 (20 dicembre)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.20                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1898 (2 aprile)       |                                                                       |                                                                                                                               | 5.30                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1898 (8 maggio)       |                                                                       |                                                                                                                               | 5.30                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1901 (19 marzo)       |                                                                       |                                                                                                                               | 5.20                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1901 (27 dicembre)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.40                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1902 (15 febbraio)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.00                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1903 (18-19 febbraio) |                                                                       |                                                                                                                               | 5.00                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1903 (7 dicembre)     |                                                                       |                                                                                                                               | 5.10                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1903 (17-18 dicembre) |                                                                       |                                                                                                                               | 5.35                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1904 (19 febbraio)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.05                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1905 (9 novembre)     |                                                                       |                                                                                                                               | 5.35                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1907 (31 ottobre)     |                                                                       |                                                                                                                               | 5.30                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1907 (10 novembre)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.45                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1907 (7-8 dicembre)   |                                                                       |                                                                                                                               | 5.55                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1909 (2 marzo)        |                                                                       |                                                                                                                               | 5.20                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1910 (31 gennaio)     |                                                                       |                                                                                                                               | 5.05                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1910 (4 febbraio)     |                                                                       |                                                                                                                               | 5.20                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1910 (10 aprile)      |                                                                       |                                                                                                                               | 5.35                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1910 (16 novembre)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.15                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1910 (19 novembre)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.25                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1910 (12-13 dicembre) |                                                                       |                                                                                                                               | 5.55                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1912 (11 gennaio)     |                                                                       |                                                                                                                               | 5.10                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1912 (24 dicembre)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.20                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1914 (12 marzo)       |                                                                       |                                                                                                                               | 5.25                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1914 (21-22 marzo)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.20                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1914 (26 marzo)       |                                                                       |                                                                                                                               | 5.35                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1914 (15 dicembre)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.75                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1915 (3 gennaio)      |                                                                       |                                                                                                                               | 5.50                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1915 (4 gennaio)      |                                                                       |                                                                                                                               | 5.75                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1915 (11 febbraio)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.45                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1915 (13 febbraio)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.65                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1915 (15 febbraio)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.30                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1915 (21 febbraio)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.65                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |
| 1915 (23 febbraio)    |                                                                       |                                                                                                                               | 5.60                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                       |



| DATA                  | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                  | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                                                                         | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                                                                                                       | DESCRIZIONE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       | a<br>1 Molino<br>della<br>Porta alle<br>Piagge<br>(NATONI,<br>1944) m | all<br>a Cataratta<br>del Sostegno<br>(NATONI,<br>1944) m.<br>Letture<br>eseguite<br>all'idrometro<br>installato<br>nel 1828 | alla<br>Cataratta del<br>Sostegno<br>(NATONI,<br>1944) m.<br>Altezze<br>riportate allo<br>zero<br>dell'idrometro<br>installato<br>nell'ottobre<br>del 1870 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1916 (9-10 novembre)  |                                                                       |                                                                                                                              | 5.35                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1916 (18-19 novembre) |                                                                       |                                                                                                                              | 5.50                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1916 (21-22 novembre) |                                                                       |                                                                                                                              | 5.95                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1916 (12 dicembre)    |                                                                       |                                                                                                                              | 5.15                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1916 (14 dicembre)    |                                                                       |                                                                                                                              | 5.60                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1917 (10 gennaio)     |                                                                       |                                                                                                                              | 5.80                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1917 (16 gennaio)     |                                                                       |                                                                                                                              | 5.45                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1917 (17 gennaio)     |                                                                       |                                                                                                                              | 5.80                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1917 (8 marzo)        |                                                                       |                                                                                                                              | 5.35                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1919 (8 gennaio)      |                                                                       |                                                                                                                              | 5.70                                                                                                                                                       | Notevole piena dell'Arno che, oltre a produrre danni e inondazioni in vaste zone del Valdarno medio e inferiore a monte di Empoli, provocò la gravissima rotta dell'argine d'Arno a circa 16 Km a monte dell'abitato di Pisa, in corrispondenza della località denominata Zambra. I danni provocati da tale rotta alle cose, agli animali e alle persone furono ingenti. L'abitato di Pisa restò però immune da una nuova inondazione grazie proprio a tale rotta. In seguito a tale evento vennero rialzate le difese idrauliche di 2° categoria a monte di Pisa (Natoni, 1944 - pag. 111).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| 1919 (28 novembre)    |                                                                       |                                                                                                                              | 5.05                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1920 (7 gennaio)      |                                                                       |                                                                                                                              | 5.85                                                                                                                                                       | Insigne piena dell'Arno che provocò notevoli inondazioni delle acque tra Firenze e lo sbocco dell'Elsa e nel tronco inferiore dell'Arno laddove non erano stati potuti completare i lavori di sistemazione delle difese attuati in seguito alla piena del gennaio del 1919. Malgrado anche in questa occasione le acque avevano invaso vaste zone, il colmo della piena verificatosi a Pisa fu tale che le acque, sormontati i parapetti delle difese murate, invasero l'abitato arrecando alla cittadinanza notevoli danni. In seguito a tale piena la Commissione Tecnica incaricata dal Ministero dei Lavori Pubblici per lo studio della sistemazione dell'Arno, ritenne necessario provvedere, oltre alla sistemazione delle difese arginali a monte di Pisa, alla demolizione e rimozione dei ruderi del Ponte Vittorio Emanuele a valle di Pisa in corrispondenza delle Cascine Nuove di S. Rossore, crollato in parte in occasione della piena del gennaio 1920, alla rimozione dei ruderi del Ponte a Mare crollato nel 1869, all'allargamento della sezione di magra dell'alveo d'Arno in corrispondenza di Barbaricina e al contenimento delle piene entro l'abitato di Pisa con difese aventi un fianco di almeno 30 cm sul livello dell'ultima piena, corretto per tener conto delle esondazioni avvenute nelle adiacenze di Pisa (il contenimento delle piene entro l'abitato di Pisa è ancora assicurato dalle panconature mobili sostenute da ritti di ferro fissati alle spallette dei muraglioni che sono messi in opera ogniquale le acque di piena minacciano di inondare l'abitato). La Commissione propose anche di demolire il Ponte di Mezzo sostituendolo con un nuovo ponte a rigurgito attenuato, l'abbattimento del Ponte della Fortezza e la costruzione, in sua vece, di un nuovo ponte in condizioni idrauliche più convenienti al deflusso delle acque. (Natoni, 1944 - pp. 111/112). |
| 1923 (6 dicembre)     |                                                                       |                                                                                                                              | 5.00                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1925 (1 marzo)        |                                                                       |                                                                                                                              | 5.00                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1926 (22-23 novembre) |                                                                       |                                                                                                                              | 5.45                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1928 (8 novembre)     |                                                                       |                                                                                                                              | 5.50                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1928 (10 novembre)    |                                                                       |                                                                                                                              | 5.80                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 1928 (12 dicembre)    |                                                                       |                                                                                                                              | 5.05                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

| DATA                     | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                  | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                                                                         | ALTEZZE<br>DELLE<br>PIENE IN<br>PISA                                                                                                                       | DESCRIZIONE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          | a<br>l Molino<br>della<br>Porta alle<br>Piagge<br>(NATONI,<br>1944) m | all<br>a Cataratta<br>del Sostegno<br>(NATONI,<br>1944) m.<br>Letture<br>eseguite<br>all'idrometro<br>installato<br>nel 1828 | alla<br>Cataratta del<br>Sostegno<br>(NATONI,<br>1944) m.<br>Altezze<br>riportate allo<br>zero<br>dell'idrometro<br>installato<br>nell'ottobre<br>del 1870 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1929 (2 gennaio)         |                                                                       |                                                                                                                              | 5.65                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1931 (21 febbraio)       |                                                                       |                                                                                                                              | 5.40                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1934 (14 marzo)          |                                                                       |                                                                                                                              | 5.45                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1934 (14 dicembre)       |                                                                       |                                                                                                                              | 5.60                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1935 (2 marzo)           |                                                                       |                                                                                                                              | 5.55                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1935 (18 novembre)       |                                                                       |                                                                                                                              | 5.30                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1937 (7 dicembre)        |                                                                       |                                                                                                                              | 5.30                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1937 (12 dicembre)       |                                                                       |                                                                                                                              | 5.75                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1941 (14 febbraio)       |                                                                       |                                                                                                                              | 5.00                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1949 (26-27<br>novembre) |                                                                       |                                                                                                                              | 6.10                                                                                                                                                       | Gravissima situazione verificatasi nel tratto arginato a monte e attraverso Pisa. Durante la fase di colmo della piena le acque hanno sormontato in più punti le difese, allagando gran parte della città. Rotta verificatasi nell'argine destro dell'Arno poco a monte di Pisa, all'altezza della Chiesa di S. Michele degli Scalzi |
| 1951 (6-7 febbraio)      |                                                                       |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1966 (4 novembre)        |                                                                       |                                                                                                                              | 6.10                                                                                                                                                       | Inondazioni in alcune parti della città di Pisa per le acque d'Arno tracimate dalle spallette. Crollo del Ponte Solferino e di un'estesa tratta dei Lungarni                                                                                                                                                                         |
| 1992 (20 ottobre)        |                                                                       |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1992 (31 ottobre)        |                                                                       |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 1993 (9 ottobre)         |                                                                       |                                                                                                                              |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

#### 1.4.4 IPOTESI DI RIASSETTO IDRAULICO DELLA PIANA DI PISA

L'attività di pianificazione del territorio comunale tiene evidentemente conto della prioritaria esigenza di mitigare, entro limiti accettabili e per quanto possibile programmati, i rischi di inondazione e di ristagno delle acque nel quadro di uno schema generale di riassetto idraulico-ambientale del territorio. Lo schema, individuato dopo un'analisi preliminare delle alternative possibili, risponde alla filosofia che è alla base delle scelte del Piano di Bacino e della ex Dcr 230/94.

I suoi obiettivi sono:

il ripristino dell'efficienza del sistema di bonifica, e in particolare dei bacini a scolo meccanico;

la separazione tra scoli fognari e canali di bonifica;

la sostanziale mitigazione del rischio di inondazione della città di Pisa.

A tale scopo sono stati utilizzati dati ricavati da analisi precedenti e da quelle svolte nell'ambito del presente lavoro; in particolare:

è stata studiata la serie storica degli eventi di piena che hanno colpito la città di Pisa, ricavando dati significativi sulle portate e i punti più critici;

sono state individuate e cartografate le zone di accumulo e di ristagno delle acque;

sono state valutate, per quanto i dati a disposizione lo consentono, le portate e i livelli raggiungibili dall'Arno nel caso di piene quantitativamente significative;

è stata utilizzata una verifica idraulica, per la quale sono state misurate nuove sezioni dell'alveo, eseguita nella zona a valle del ponte sulla ferrovia, che ha evidenziato l'inadeguatezza di un tratto dell'argine sinistro (Porta a Mare-La Vettola) a contenere piene superiori a 1.600 mc/s.

Nonostante queste analisi abbiano prodotto un indubbio passo avanti nella pianificazione di una reale messa in sicurezza della città di Pisa dalle inondazioni vi sono alcune lacune che andrebbero colmate nel più breve tempo possibile:

nuove misure delle sezioni dell'alveo dell'Arno, prioritariamente nel tratto cittadino e successivamente verso monte;

verifica di dettaglio dell'efficienza delle arginature e di altre opere idrauliche esistenti.

##### 1.4.4.1 IL RIPRISTINO DELLA BONIFICA

Per il riadeguamento del sistema di bonifica rispetto alle mutate esigenze e per la sua separazione dal sistema fognario, bisognerà considerare:

l'esigenza di eliminare le commistione tra acque di bonifica e liquami fognari separando nettamente i due circuiti. A questo fine una ipotesi potrebbe essere rappresentata, per esempio, dalla costruzione di nuovi canali, adibiti esclusivamente agli scoli fognari all'interno del bacino a scolo meccanico di Campaldo, dalla attivazione del canale perimetrale dell'aeroporto (esistente ma in abbandono) liberando così il fosso di Sant'Ermete che potrebbe confluire nella bonifica di Coltano, eccetera;

le funzioni e le caratteristiche del reticolo di bonifica, proteggendo tutte le aree a scolo meccanico e introducendo le salvaguardie necessarie. Fasce di rispetto andranno inoltre applicate ai canali principali;

la necessità di limitare il fenomeno degli allagamenti e/o di cercare di tenerlo sotto controllo individuando, per ogni bacino a scolo meccanico, alcune zone più depresse in cui convogliare le acque in caso di piovosità intensa. In via preliminare si indicano l'area dell'ex padule di Stagno, l'area del padule del Gracitone e della Ballerina, le aree poste tra il fiume Morto, San Rossore e l'autostrada, l'area meridionale della bonifica di Arnaccio.

##### 1.4.4.2 LA DIFESA DALLE INONDAZIONI

Come è stato precedentemente evidenziato, la destinazione alla laminazione delle piene delle uniche aree ancora disponibili lungo il corso dell'Arno e situate in territorio comunale (La Cella e l'ansa di Cisanello), la realizzazione di tutte le casse di espansione previste dal Piano di bacino e, naturalmente, la totale protezione delle aree di pertinenza fluviale a permanente rischio di inondazione (zone golenali), seppur necessarie, non apporteranno una sufficiente diminuzione del rischio per eventi tipo 1966.



Emerge quindi la prioritaria esigenza di individuare all'interno del territorio comunale ulteriori aree da destinare allo smaltimento delle piene eccezionali dell'Arno.

Il Piano strutturale non può non farsi carico di questa esigenza indicando e salvaguardando le aree all'uso necessarie.

Allo stato attuale delle conoscenze, viene individuata (fig. 2) una vasta area depressa posta nella parte sud occidentale del Comune: l'area dell'ex padule di Stagno. Si tratta di una zona disabitata con una superficie di 8 km<sup>2</sup> in cui affiorano argille molli, è posta in parte a quote inferiori allo zero ed essendo soggetta a ristagni frequentissimi è prosciugata meccanicamente. Verso nord - est, l'area di Stagno è separata dall'ex padule di Coltano dall'elemento morfologico più rilevante della piana: la tenuta di Coltano ("Isola di Coltano"), che rappresenta un alto morfologico, litologicamente costituito da sabbie eoliche di duna, con quote che, raggiungendo un massimo di 9 m, lo pongono in rilievo rispetto alla piana circostante, per buona parte situata a quote inferiori rispetto a quella del mare.

L'area di Stagno sarebbe una naturale zona di espansione delle piene e a questa funzione andrebbe destinata nel quadro di un progetto di riassetto idraulico generale che si prefigga:

- la sostanziale mitigazione del rischio di inondazione della città di Pisa;
- il ripristino dell'efficienza del sistema di bonifica.

#### 1.4.5 STATO DI EFFICIENZA DELLE OPERE IDRAULICHE E LIVELLI DI RISCHIO

Con riferimento a quanto prescritto dalla D.C.R. 230/94 art. 7 comma 6.3, in merito allo stato di efficienza delle opere idrauliche e alla definizione del grado di rischio idraulico a cui è esposto il territorio pisano, valgono le seguenti osservazioni:

Le opere idrauliche di difesa della città di Pisa e del territorio comunale sono relative al Fiume Arno e consistono in un sistema di arginature presente lungo tutta l'asta fluviale, tranne che in destra orografica in corrispondenza della foce (Lame della Gelosia), e nello Scolmatore di Pontedera (esterno al territorio comunale).

Il grado di efficienza di queste opere è stato verificato in occasione dei recenti eventi alluvionali che non hanno coinvolto la città di Pisa. Inoltre una recente pubblicazione dell'Autorità di Bacino (Quaderno n. 2, 1994), non evidenzia nel tratto pisano dissesti rilevanti lungo gli argini e le rive del fiume.

Il grado di rischio idraulico a cui è esposto il territorio comunale sarebbe quindi da valutarsi solamente in relazione alla probabilità di piene eccezionali con portate all'ingresso del territorio pisano superiori a quelle transitate in occasione dell'evento 1992 (ottobre). Durante questo evento il livello dell'acqua raggiunse quasi la sommità delle spallette.

I frequenti allagamenti che si verificano in vaste zone del territorio comunale (confronta "Carta delle aree allagabili") in occasione di piogge locali intense, sono dovuti alla morfologia del territorio ed alla tracimazione dei canali della bonifica.

Nell'attuale stato dell'intero sistema delle bonifiche permane un elevato rischio di allagamento in tutte le zone indicate nella "Carta delle aree allagabili". E' altresì evidente che qualora vengano adottate misure di adeguamento del sistema, la superficie delle aree ad elevato rischio di allagamento potrà diminuire sensibilmente.

##### 1.4.5.1 CONSIDERAZIONI SUGLI ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI IDRAULICI

Anche per tale aspetto l'indagine condotta non ha comportato una variazione sostanziale del quadro conoscitivo.

#### SALVAGUARDIE PER L'AMBITO B (ART. 3.15 R.U.)

Riprendendo quanto indicato nel R.U. art. 3.15 e nell'art. 77 del P.I.T., vigente fino all'8 marzo 2005, le salvaguardie a carattere idraulico si applicano per le previsioni urbanistiche ricadenti nell'ambito denominato "B" comprendente le aree potenzialmente inondabili in prossimità dei corsi d'acqua classificati.

L'ambito "B" corrisponde alle aree a quota altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a 2 metri sopra il piede esterno d'argine o, in mancanza sopra il ciglio di sponda e non potrà superare la distanza di metri lineari 300.

Le salvaguardie si applicano alle nuove previsioni di ambito "B" degli strumenti urbanistici generali e loro varianti, comunque volte a conseguire incrementi di superficie coperta superiore a 500 mq.

Le previsioni possono essere approvate se sul corso d'acqua interessato si effettua una specifica indagine idrologico-idraulica al fine di individuare l'eventuale presenza del rischio idraulico valutato sulla base della piena con tempo di ritorno duecentennale ( $Tr_{200}$ ). Ed alla presenza di rischio idraulico così definito dovranno essere individuati nello S.U. gli interventi di regimazione idraulici dimensionati sulla base della piena con tempo di ritorno  $Tr_{200}$ .

Il Comune di Pisa sta provvedendo ad adeguare il proprio strumento urbanistico a seguito dell'approvazione del Piano di bacino del fiume Arno, stralcio Assetto Idrogeologico (PAI), e come previsto dall'art. 27 "Adeguamento degli strumenti di governo del territorio", ha proceduto ad effettuare la verifica di coerenza tra il PAI ed i propri strumenti di pianificazione territoriale e di governo del territorio. Le risultanze di tale verifica hanno messo in luce sostanziali differenze tra i due strumenti, per cui l'Amministrazione Comunale ha deciso, ai fini dell'adeguamento del proprio strumento urbanistico di procedere ad approfondire il quadro conoscitivo utilizzato per la predisposizione del PAI attenendosi a quanto previsto all'art. 32 "Procedura di integrazione e modifica del PAI. Le verifiche idrauliche finalizzate a valutare la presenza del rischio idraulico, necessarie ai sensi dall'art. 3.15 del R.U. che recepisce quanto disposto dalla ex 230/94, possono essere considerate effettuate dall'Autorità di Bacino. Autorità che per la predisposizione del PAI ha effettuato uno studio molto dettagliato sugli effetti delle esondazioni provocate dall'Arno, predisponendo le cartografie di pericolosità idraulica che a breve saranno recepite negli strumenti urbanistici del Comune di Pisa.

#### 1.5 ELEMENTI PER LE VALUTAZIONI DEGLI ASPETTI DI DINAMICA COSTIERA

Il delta attuale dell'Arno, formato a partire dalla prima metà del 1600 dopo il taglio ferdinando che spostò la foce di circa 1,5 km più a Nord, ha avuto una fase di accrescimento nel 1700 e nella prima metà del 1800. Probabilmente questo fenomeno di sviluppo deltizio fu determinato da un maggior apporto di torbide al mare provocate da vari fattori quali l'aumento di pendenza creato in seguito alla esecuzione delle opere idrauliche di rettificazione e la riduzione delle aree boscate che portò ad una più rapida erosione del suolo.

Dal 1850 ad oggi sia l'Arno che il Serchio hanno invece ridotto la quantità del trasporto solido rendendo negativo il bilancio sedimentario delle spiagge. Tale riduzione è legata all'invertirsi di alcuni fenomeni agenti in precedenza tra cui citiamo l'attenuazione dell'azione di disboscamento, una diminuzione media delle precipitazioni, la diffusione in agricoltura di tecniche idonee a ridurre l'erosione dei suoli, la diffusione delle bonifiche con il metodo delle colmate che trattenevano i sedimenti altrimenti diretti verso le spiagge. In tempi più recenti, anche le escavazioni in alveo hanno agito nella stessa direzione.

Per questi motivi, dalla seconda metà del 1800 sono iniziati i processi di demolizione del delta dell'Arno.

Contemporaneamente ed in conseguenza allo smantellamento del delta, per un certo periodo, si è verificato un ripascimento delle spiagge laterali al delta stesso. Tale ripascimento era alimentato dai processi di smantellamento delle zone apicali del delta la cui ampiezza non poteva essere più mantenuta a causa dell'insufficiente apporto solido. Il punto di separazione tra le spiagge in erosione più vicine al delta e quelle in avanzamento più lontane, si allontanava gradualmente dalla zona della foce in modo che il tratto di litorale soggetto a fenomeni erosivi andava sempre più estendendosi.

Nella parte di litorale localizzata a Nord della foce dell'Arno, i processi erosivi si sono progressivamente ampliati fino alla foce del Serchio (raggiunta nel 1985). In questa zona, pochissimo antropizzata, sono state costruite come opere di difesa soltanto le cinque scogliere parallele alla linea di costa nella zona del Gombo in prossimità della ex Villa Presidenziale.

Nella costa a Sud della foce dell'Arno furono costruite delle scogliere di protezione dalla erosione per difendere l'abitato di Marina di Pisa fino dall'inizio del verificarsi del fenomeno. In questo modo fu arrestato l'ulteriore arretramento della costa, ma non si poté evitare la scomparsa della spiaggia che venne asportata tra il 1878 ed il 1928.

L'erosione costiera proseguì comunque progressivamente a Sud dell'abitato di Marina ed ha raggiunto oggi la zona immediatamente a Nord dell'abitato di Tirrenia.

### 1.5.1 TENDENZE EVOLUTIVE

La foce dell'Arno rappresenta un punto di inversione del senso del trasporto solido; dalla foce dell'Arno fino a Forte dei Marmi è diretto da Sud verso Nord mentre da Bocca d'Arno fino a Calambrone è diretto da Nord verso Sud.

La dinamica costiera, attualmente molto attiva, viene di seguito descritta per i vari settori più importanti del litorale pisano.

#### 1.5.1.1 ZONA LITORANEA A NORD DELLA FOCE DELL'ARNO.

Il tratto costiero che va dalla Foce dell'Arno fino alla foce del Serchio è attualmente in erosione. In questo contesto, la costa ubicata a nord delle opere di difesa in prossimità dello sbocco dell'Arno in mare è attualmente in fase di arretramento piuttosto marcato; i processi erosivi sono in atto da più di un secolo, mostrando nell'ultimo periodo un tasso di arretramento di circa 7 m all'anno.

Più a Nord, nella zona del Gombo, la presenza di scogliere, costruite per contrastare i processi erosivi in atto, ha causato un ripascimento della spiaggia posta immediatamente a sud delle scogliere stesse (zona sottoflutto) ed un arresto dei processi erosivi nella zona costiera adiacente a quest'ultima ancora verso Sud. Mentre nella zona a Nord delle scogliere stesse si è realizzato il processo inverso in quanto l'entità dei fenomeni erosivi è aumentata.

L'erosione si è propagata ancora più a Nord, fino a raggiungere la zona posta immediatamente a Sud dei manufatti della foce del Fiume Morto Nuovo che a loro volta in precedenza avevano invece creato le condizioni per la stabilizzazione dello stesso tratto costiero. Di conseguenza nella zona della Bocca del Fiume Morto Nuovo l'erosione è attualmente attiva sia a sud che a Nord delle opere murarie costruite a difesa della foce nel 1934. In questa fascia l'erosione marina si è accentuata in anni recenti ed in particolare nel molo destro. A titolo esemplificativo è da notare che dalla data della costruzione dei moli fino al 1976 vi è stato un arretramento della spiaggia sul molo destro di circa 50 m; dal 1976 al 1988 la spiaggia è ulteriormente arretrata di circa 65 m.

#### 1.5.1.2 ZONA DELLA FOCE DELL'ARNO.

In prossimità della foce dell'Arno, sono attualmente molto attivi i fenomeni erosivi sulle spiagge adiacenti al molo destro non protette da opere di difesa parallele alla costa. Un ulteriore elemento di criticità di questa zona è il fenomeno della tendenza all'insabbiamento della foce. La corrente del fiume infatti, se si escludono i periodi di piena, non è in grado di contrastare fenomeni di innalzamento dei fondali in prossimità della foce stessa, che arrivano anche a profondità inferiori a 2 m. Per facilitare il transito delle imbarcazioni nel tratto terminale dell'Arno sono stati effettuati in passato dei dragaggi la cui modesta entità non è riuscita a contrastare l'attuale tendenza evolutiva.

#### 1.5.1.3 ZONA LITORANEA A SUD DELLA FOCE DELL'ARNO.

Dalla foce dell'Arno al Porto di Livorno il trasporto solido marino risulta diretto da Nord verso Sud nel tratto che va dalla foce dell'Arno a Tirrenia, mentre, proseguendo verso meridione, l'assenza di accumulo a ridosso del molo Nord di Livorno dimostra l'esistenza in quel tratto di un trasporto di verso opposto. Esiste quindi una zona di convergenza delle direzioni di trasporto a largo di Tirrenia, come confermato dalla tendenza all'ampliamento della spiaggia sottomarina. A Nord di Tirrenia la spiaggia si presenta in forte erosione, mentre a sud appare in equilibrio o in avanzamento.

Nella fascia costiera compresa tra Marina di Pisa, il cui abitato è stato difeso da scogliere a partire dal 1898, e la periferia settentrionale di Tirrenia, si è verificato, dal 1839 in poi, un notevole arretramento della linea costiera fino ad un massimo di 80 m.

Il tratto di litorale tra Tirrenia ed il porto di Livorno è interessato dalla tendenza all'avanzamento dal 1823.

Anche la linea di riva in prossimità della foce dello Scolmatore è attualmente in avanzamento. Tale foce è attualmente soggetta a fenomeni di insabbiamento che contribuiscono ad alterare la funzione di riduzione del rischio idraulico della città di Pisa dello scolmatore stesso. Le cause di questa progradazione sono da ricercarsi nel fatto che la zona è protetta dal Porto di Livorno a Sud e dalle secche della Meloria ad



Ovest. Il ripascimento della spiaggia è probabilmente alimentato dagli apporti seppur limitati dello Scolmatore e delle Secche della Meloria in erosione e dai sedimenti che provengono dall'erosione dell'apparato deltizio dell'Arno e delle spiagge ad esso adiacenti.

## 1.6 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI IDROGEOLOGICI

### 1.6.1 I PRINCIPALI SISTEMI IDROGEOLOGICI

Dall'esame della carta di permeabilità si osserva che le aree presentano situazioni idrogeologiche assai simili.

In generale sono presenti 3 sistemi idrogeologici distinti:

il complesso dei limi superficiali dell'Arno

il complesso delle argille

#### 1.6.1.1 IL COMPLESSO DEI LIMI DELL'ARNO

Un'ampia fascia di territorio, posta in fregio all'Arno è costituita dalla sovrapposizione di tratti di paleoalvei del fiume che, non ancora arginato e rettificato, è stato libero di divagare e depositare nella pianura circostante, oltre a depositi di colmata legati a episodi deposizionali recenti/storici dell'Arno.

In pratica il complesso dei limi superficiali (a componente limosa più o meno sabbiosa) e sovrastanti i terreni argillosi del "pancone" è formato da una successione di tratti di paleoalvei, sub-superficiali o sepolti ed interconnessi. Questa particolare forma di deposizione spiega l'estrema eterogeneità dei limi ed i frequenti collegamenti idraulici orizzontali e verticali presenti tra gli acquiferi freatici, semi-freatici e confinati di questi sedimenti.

Allontanandosi dall'Arno verso sud (zona di Ospedaletto) la composizione granulometrica dei limi tende a decrescere, passando da limi sabbiosi (zone prossimali al fiume) a limi e limi argillosi (zone distali).

I terreni ascrivibili al complesso dei limi possono presentare quindi caratteristiche di permeabilità variabili, decrescenti dall'Arno verso sud e nord. Quando presenti gli acquiferi tendono a concentrarsi nelle zone prossimali e principalmente poste in corrispondenza dei paleoalvei (come dimostrato dalla densità di pozzi di grande diametro). Il tetto di questi acquiferi è molto superficiale e prossimo al p.c. ed il fiume Arno ne rappresenta il principale (talora unico) sistema di alimentazione.

La permeabilità di questo complesso di terreni è media, passante a medio basso verso le aree distali ed aumentando ad elevata in corrispondenza dei paleoalvei. In questo ultimo caso gli acquiferi (freatici/semifreatici) presenti nei paleoalvei assumono la caratteristica di prima risorsa vulnerabile (da proteggere e salvaguardare).

#### 1.6.1.2 IL COMPLESSO DELLE ARGILLE

Un ampio settore centrale del territorio comunale, a sud e a nord dell'Arno, si caratterizza per la presenza di terreni argillosi impermeabili, privi di falda freatica. In questi terreni la prima risorsa vulnerabile (che possiede le caratteristiche di risorsa da salvaguardare) è presente in un livello di sabbie sottostante i sedimenti argillosi ed a profondità significative dal p.c. (da plurimetriche a decametriche).

Ci si riferisce all'acquifero in sabbie-confinato, a carattere "regionale", ampiamente diffuso in tutta la porzione centro orientale del territorio comunale.

E' presente anche sotto il complesso dei limi dell'Arno, dove però appare sovrastato da altri acquiferi superficiali (che, come visto nel paragrafo precedente, assumono i connotati di prima risorsa vulnerabile).

La permeabilità di questo complesso è bassa/molto bassa. La prima risorsa vulnerabile appare sufficientemente protetta dagli spessi sedimenti impermeabili superiori.

## 1.6.2 CARTA IDROGEOLOGICA

### 1.6.2.1 LINEAMENTI IDROGEOLOGICI E PERMEABILITÀ

Da un punto di vista litologico è importante distinguere tutti i litotipi presenti nell'area sia in affioramento che in sottosuolo, poiché le differenze litologiche e tessiturali determinano sostanziali differenze nel comportamento idrogeologico, influenzando in particolare la permeabilità.

Di seguito verrà riportata una sintetica descrizione dei litotipi e del loro tipo e grado di permeabilità relativa (Baldacci et al., 1994), prendendo come riferimento, per la parte affiorante, la carta geologica (Carratori et al., 1994) allegata alla pubblicazione di Mazzanti, 1994b. Procedendo dalla costa verso l'interno (da Ovest verso Est) sono presenti:

- ✦ sabbie delle spiagge attuali; permeabilità primaria medio elevata;
- ✦ sabbie eoliche dei lidi e delle dune litoranee; permeabilità primaria media;
- ✦ depositi di interduna; praticamente impermeabili;
- ✦ depositi alluvionali prevalentemente argillosi, torbe palustri e depositi di colmata; permeabilità primaria molto bassa, livelli praticamente impermeabili in corrispondenza delle intercalazioni torbose;
- ✦ depositi alluvionali prevalentemente sabbiosi-limosi; permeabilità primaria medio-bassa, che aumentaleggermente in corrispondenza dei livelli più sabbiosi;
- ✦ depositi di origine eolica, sabbiosi ("Sabbie dell'Isola di Coltano" correlabili alle "Calcareniti e sabbie di Carratori et al., 1994), permeabilità primaria media;
- ✦ depositi delle aree golenali e terreni di riporto; permeabilità media.

Nel sottosuolo oltre ad alcuni fra i sedimenti precedentemente descritti sono presenti anche depositi alluvionali e fluvio-lacustri, ciottolosi-ghiaiosi-sabbiosi a permeabilità primaria variabile tra elevata e bassa conosciuti in letteratura con il nome di "conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina".

Da un punto di vista litostratigrafico la situazione si presenta complicata a causa di un alternanza di sedimenti di ambiente continentale e di ambiente marino, di forma spesso lenticolare, che ha permesso la formazione di un sistema acquifero multistrato.

Tale assetto litostratigrafico è il risultato dell'alternanza degli effetti delle trasgressioni e delle regressioni che si sono succedute nel tempo. Questi fenomeni, causati dalla subsidenza tettonica (legata a movimenti a scala molto ampia) e/o da variazioni eustatiche del livello marino (effetto delle glaciazioni), hanno controllato lo sviluppo del reticolo idrografico e provocato i movimenti della linea di costa. Infatti un avanzamento verso terra della linea di costa, si verifica se un innalzamento relativo del livello del mare non viene sufficientemente bilanciato da un aumento di apporto di sedimenti, mentre l'arretramento della linea di costa è il risultato di un bilancio negativo tra apporti sedimentari e abbassamento relativo del livello del mare.

Sulla base di queste considerazioni a carattere generale, la successione idrostratigrafica del sottosuolo del territorio comunale di Pisa può essere così sintetizzata:

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.

#### 1.6.2.2 RISORSE IDROGEOLOGICHE E VULNERABILITÀ

Le risorse per l'approvvigionamento idrico presenti sul territorio comunale sono costituite dai tre orizzonti acquiferi descritti nel paragrafo precedente. L'importanza di ciascuno di loro dipende dalla quantità e qualità dell'acqua immagazzinata, nonché dalla quantità e dall'uso dell'acqua emunta.

Sulla base di queste considerazioni sarà possibile analizzare la vulnerabilità di ognuno dei tre orizzonti: acquifero artesiano in ghiaia, acquifero artesiano in sabbia e acquifero freatico.

#### *ACQUIFERO ARTESIANO IN GHIAIA.*

L'acquifero artesiano in ghiaia rappresenta la falda più importante, per le sue caratteristiche litologico-tessiturali, di permeabilità, di quantità e qualità di acqua immagazzinata, e soprattutto perché costituisce l'unico orizzonte che i pochi pozzi del territorio comunale sfruttano per un approvvigionamento a scopi idropotabili. L'andamento piezometrico (Rossi e Spandre, 1994) di questa falda mostra una serie di massimi e minimi in relazione all'entità del pompaggio. E' evidente un rapido abbassamento lungo la zona costiera fino ad un massimo di -4 m s.l.m. ed una tendenza alla risalita verso Est. Un altro minimo relativo, legato all'emungimento, è ubicato a Sud del centro urbano di Pisa, mentre verso Ovest, dove l'entità dei pompaggi diminuisce sensibilmente, la superficie tende a risalire.

Da un'analisi dei dati a disposizione, questo livello acquifero risulta scarsamente vulnerabile almeno per la parte che ricade nel territorio del Comune di Pisa. Tale vantaggio deriva dalla profondità alla quale si trova il tetto della falda, dalla presenza di livelli relativamente impermeabili in posizione sovrastante, e soprattutto dalla mancanza, nel territorio comunale, di una zona di ricarica, se si esclude il limitato collegamento con l'acquifero superiore presente nelle sabbie che, nella zona di Coltano, ospitano una falda a pelo libero.

#### *ACQUIFERO ARTESIANO IN SABBIA.*

L'acquifero artesiano in sabbia, dai dati a nostra disposizione e finora elaborati, risulta sfruttato attraverso l'emungimento da almeno una trentina di pozzi ubicati sul territorio comunale. Alcuni dati di letteratura (Rossi e Spandre, 1995) mettono in evidenza che, l'andamento della geometria della superficie piezometrica è caratterizzato da un'ampia depressione allungata nella zona a S di Pisa, che tende a risalire verso NE in direzione dei Monti Pisani dove ha sede la ricarica principale della falda. Le analisi chimiche elaborate nel lavoro citato hanno inoltre evidenziato la presenza di due zone, una ubicata a NW e l'altra a N della città, in cui le acque risultano di tipo clorurato-alcane e sono caratterizzate da alti valori di conducibilità elettrica. La falda in sabbia ha generali caratteristiche di artesianità e quindi è in buona parte protetta dalla presenza di strati superiori composti da litotipi relativamente impermeabili, risulta, invece, esposta in quelle zone dove avviene la sua ricarica. La maggior parte di esse sono situate al di fuori del territorio comunale, che comprende solo le zone dunari situate lungo la fascia costiera a N e a S della foce dell'Arno e l'area di Coltano. In base a queste considerazioni e alla luce delle attuali



conoscenze, la vulnerabilità della falda risulta bassa per tutto il territorio comunale ad eccezione delle zone di ricarica sopra descritte dove aumenta notevolmente fino a raggiungere valori elevati.

#### ACQUIFERO FREATICO.

L'acquifero freatico è presente in ampie zone del territorio comunale ed è situato nelle lenti sabbiose o nei frequenti depositi dei paleoalvei. Generalmente questo acquifero non è stato quasi mai preso in considerazione perché l'acqua non è utilizzabile a scopi idropotabili a causa della sua scarsa quantità e della sua bassa qualità.

Un'analisi dei dati a disposizione, in letteratura e di quelli reperiti dalle autodenunce dei proprietari dei pozzi, raccolte dall'amministrazione provinciale, ha messo in evidenza, però, che esiste un'enorme quantità di pozzi (il loro numero si aggira intorno a qualche migliaio fig. 3), che sfruttano la falda superficiale freatica a scopi principalmente irrigui (quest'ultimo dato, pur non essendo esplicitamente indicato nelle schede, si deduce facilmente dalla profondità delle opere, di captazione che solo raramente supera 10 m).

La geometria della superficie piezometrica è stata ricostruita sulla base di due campagne di misura, una primaverile e l'altra estiva, svolte rispettivamente nel mese di maggio e di agosto del 1994 (Vieri, 1995). Questa mette in evidenza come la falda freatica sia posta generalmente molto prossima al piano di campagna. Le isofreatiche di maggio mostrano due minimi assoluti del valore di -2 m rispetto al livello del mare, uno ubicato nella zona di Coltano e l'altro nella zona di S. Piero a Grado e due massimi assoluti del valore di 3 m s.l.m. posti nelle zone di Cisanello e Riglione. Le isofreatiche del mese di agosto risultano leggermente più articolate presentando due minimi assoluti del valore di -2.5 m s.l.m. in corrispondenza della zona di Coltano e di un'area ubicata a N dell'aeroporto; due minimi relativo del valore di -1 m s.l.m. posti nella zona di Barbaricina e a E; di Coltano; due massimi assoluti di 2 m s.l.m. in corrispondenza del centro cittadino e della zona industriale di Ospedaletto, due massimi relativi del valore di 1 m s.l.m. lungo la costa settentrionale (nel Territorio del Parco di Migliarino S. Rossore) e a S. del massimo della zona di Ospedaletto.

Il confronto fra l'andamento della superficie piezometrica riferita ai due differenti periodi permette di valutarne le oscillazioni. La differenza di quota piezometrica fra le curve del periodo primaverile e quelle del periodo estivo varia da un minimo di 0 (corrispondenza quasi perfetta fra le due curve) ad un massimo di circa +3 m. In particolare il valore massimo si raggiunge nella zona di Riglione; in una zona più meridionale il valore passa a +2.5, mentre nell'area di S. Piero a Grado si riduce a circa 1 m.

L'acquifero freatico, per le caratteristiche legate principalmente alla sua posizione superficiale, risulta quello maggiormente vulnerabile. Tale caratteristica accresce il rischio di inquinamento delle acque immagazzinate, che attualmente non risultano soggette a controlli. La totale assenza di dati sulla loro qualità, presumibilmente scadente soprattutto nell'area urbanizzata, impedisce di valutare le possibili ricadute sulla salute che una loro utilizzazione potrebbe provocare.

Inoltre, va sottolineato che; a causa dei rapporti esistenti tra questa falda e l'idrografia superficiale (principalmente i fossi, secondariamente i canali e molto marginalmente e solo nella parte orientale l'Arno) la qualità delle acque che scorrono in superficie, influenza, più o meno direttamente, la qualità dell'acqua presente in falda.

#### 1.6.2.3 L'INTRUSIONE MARINA

Il problema dell'intrusione marina è un fenomeno più o meno caratteristico di tutte le pianure costiere e quella pisana non fa eccezione. 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.

Nel caso della pianura pisana, i dati finora disponibili non consentono di valutare in modo quantitativamente preciso il fenomeno, permettono, però, di svolgere alcune considerazioni di un certo interesse per l'inquadramento del problema al fine di programmare analisi più dettagliate volte alla reale definizione e conoscenza del problema.

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.

Il fenomeno dell'intrusione del cuneo salino nel caso dell'acquifero freatico, grazie al suo ridotto spessore di circa 10 m, è limitato ad una fascia costiera molto ristretta. Infatti per quanto forti siano gli emungimenti, l'interfaccia raggiunge il livello impermeabile in uno spazio molto breve, impedendo un avanzamento verso l'interno del cuneo salino.

Tale affermazione è confermata dalle analisi di alcuni campioni prelevati in pozzi del litorale, che mostrano una generale diminuzione del contenuto in cloruri e della conducibilità elettrica già a poche centinaia di metri dalla linea di costa.

Per quanto riguarda invece la falda artesianica in ghiaia, il problema assume una portata differente e merita una attenzione particolare. Le analisi di alcuni campioni (Rossi e Spandre, 1994) hanno messo in evidenza un sensibile aumento dei parametri significativi (cloruri e conducibilità elettrica) in prelievi effettuati in pozzi situati qualche km ad Est rispetto alla costa; inoltre in un pozzo ubicato nella zona di Tombolo è stata valutata a circa -45 m s.l.m. la

profondità dell'interfaccia acqua dolce-acqua salata (fig. 3). Dai dati a disposizione è possibile ipotizzare che tale fenomeno sia legato ad un flusso di acqua salata, che procedendo verso l'interno, a causa dei forti emungimenti, verrebbe a contatto con il flusso di acqua dolce, determinando in tal modo una spessa zona di miscelazione. In particolare i forti emungimenti che si verificano soprattutto nella parte SW del territorio comunale di Pisa, determina le condizioni favorevoli per il richiamo di acqua dal mare. Infatti confrontando i dati piezometrici e quelli relativi ai cloruri e alla conducibilità elettrica (raccolti in due campagne successive una estiva e l'altra autunnale), si nota che durante il periodo estivo, in cui gli emungimenti aumentano sensibilmente, ad un abbassamento della superficie piezometrica corrisponde un aumento della conducibilità elettrica e della concentrazione dei cloruri, che determina un evidente spostamento verso l'interno della curva che rappresenta il limite di idropotabilità (200-300 mg/l), la quale arriva a lambire l'area della Vettola.

#### 1.6.2.4 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI IDROGEOLOGICI

Anche per tale aspetto l'indagine condotta non ha comportato una variazione sostanziale del quadro conoscitivo.

#### 1.7 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI LOCALI E DI SITO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO

Gli elementi prioritari per la valutazione degli effetti locali e di sito, in relazione all'obiettivo della riduzione del rischio sismico, sono quelli utili alle successive fasi di caratterizzazione sismica dei terreni e di parametrizzazione dinamica riferite alla realizzazione o verifica dell'edificio.

Dalle indagini disponibili nella zona (prove Down Hole e prove MASW) si evince che il valore di Vs30 tipico per questi terreni determinato fra 0 m e 30 m dal piano di campagna varia mediamente fra 145 m/sec e 170 m/sec ed è pertanto tipico della Categoria D.

Sono state eseguite due misure di sismica passiva a stazione singola per l'applicazione del metodo HVSR. La tabella che segue ne sintetizza i risultati riportando non solo la frequenza di picco (a cui corrisponde l'ampiezza A0 massima) ma anche eventuali altre frequenze che possono risultare interessanti.

| Misura | Frequenza             | Ampiezza | Frequenza             | Ampiezza | Frequenza              | Ampiezza |
|--------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|------------------------|----------|
| HVSR1  | f <sub>0</sub> = 0.27 |          | f <sub>0</sub> = 1.19 |          | f <sub>0</sub> = 14.03 |          |
|        | A = 6.82              |          | A = 2.11              |          | A = 1.64               |          |
| HVSR2  | f <sub>0</sub> = 0.30 |          | f <sub>0</sub> = 1.25 |          |                        |          |
|        | A = 5.37              |          | A = 2.00              |          |                        |          |

Tutte le misure sono caratterizzate da due frequenze di risonanza, il valore più basso (circa 0.3 Hz) è caratterizzato da una grande ampiezza (5-7) ed è correlabile con una discontinuità piuttosto profonda caratterizzata da un grande contrasto di

impedenza. Il valore di frequenza più alto (quindi correlabile con una discontinuità più superficiale) è invece caratterizzato da ampiezza poco superiore a 2 indice di un contrasto di impedenza poco marcato. Il picco a 14,03 Hz della prova HVSR1 è attribuibile a una discontinuità molto superficiale (considerati i valori di  $V_s$  in gioco probabilmente dell'ordine di 2-3 metri) e caratterizzata da un basso contrasto di impedenza (ampiezza inferiore a 2).

Nella tabella che segue (tratta da Albarello D. & Castellaro S. (2011) – Tecniche sismiche passive indagini a stazione singola. Supplemento alla rivista Ingegneria sismica Anno XXVIII, n. 2-2011) è riportata una correlazione fra il valore della frequenza di risonanza misurata e lo spessore delle coperture.

*Tab. 1 Abaco per la stima dello spessore delle coperture (h) a partire dai valori delle frequenze di risonanza ( $f_0$ ) determinate dalle misure H/V.*

| $F_0(\text{Hz})$ | $h \text{ (m)}$ |
|------------------|-----------------|
| <1               | >100            |
| 1-2              | 50-100          |
| 2-3              | 30-50           |
| 3-5              | 20-30           |
| 5-8              | 10-20           |
| 8-20             | 5-10            |
| >20              | <5              |

Sulla base di questa tabella è possibile ottenere una indicazione di larga massima sulla profondità dello strato risonante.

È inoltre possibile ottenere una stima più accurata utilizzando la formula sopra riportata ( $f_0 = V_s / (4H)$ ) che correla la frequenza di risonanza con la velocità  $V_s$  e lo spessore delle coperture.

In corrispondenza della misura HVSR1 è reperibile un sondaggio vedi allegati Core M3, che attesta la presenza di un banco di sabbie alla profondità di circa 22 metri dal pc. Al tetto delle sabbie si alternano strati prevalentemente argillosi. Ipotizzando che queste sabbie rappresentino lo strato risonante a 1.19 Hz si ottiene:

$$V_s = 1.19 \text{ Hz} * 4 * 22 = 104 \text{ m/sec}$$

In corrispondenza della misura HVSR2 e dalla stratigrafia di un pozzo vedi allegati si evince la presenza di un orizzonte di sabbia alla profondità di circa 30 m da pc. Anche in questo caso al tetto delle sabbie si alternano strati prevalentemente argillosi. Ipotizzando che le sabbie rappresentino lo strato risonante a 1.25 Hz si ottiene:

$$V_s = 1.25 \text{ Hz} * 4 * 30 = 150 \text{ m/sec}$$

I valori di  $V_s$  media sopra calcolati, per le rispettive profondità, sono in linea con i valori caratteristici dei terreni presenti in questa zona.

Il Comune di Pisa ha in corso la predisposizione della cartografia di micro zonazione sismica di livello 1, di cui i dati precedentemente esposti fanno parte.

La carta dei dati di base è già strutturata, la carta delle frequenze in quest'area è stata esposta precedentemente, la carta delle MOPS è in corso di completamento.



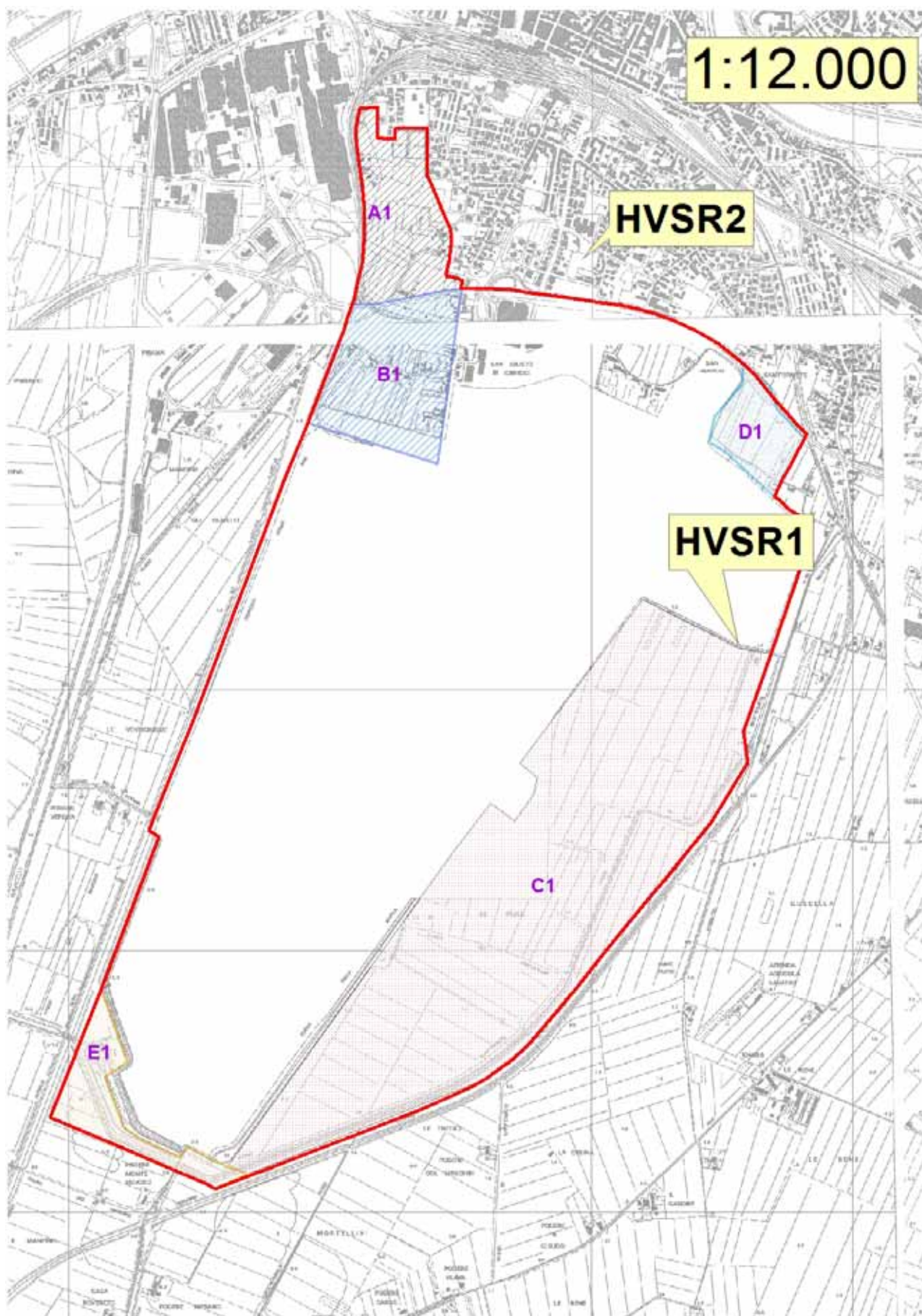


Fig. 18 - Ubicazioni misurazioni

### 1.7.1 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI

Ai sensi della nuova normativa antisismica nazionale (DPCM 3274/03) si è proceduto a determinare il parametro Vs30, che esprime la velocità media delle onde elastiche di taglio (onde S appunto) nei primi 30 metri di profondità al disotto del piano di fondazione. In particolare, per Vs30, si intende la media pesata della velocità delle onde S determinata come di seguito:

$$Vs_{30} = 30 \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_i}}$$

Una volta noto il valore della Vs30 è possibile collocare il terreno interessato dall'intervento all'interno di una delle categorie di suolo previste dalla legge in oggetto e riportate di seguito.

| Suolo di fondazione                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Vs <sub>30</sub>       | N <sub>spt</sub> - Cu                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>A</b><br>Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di <b>Vs30</b> superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.                                                                                                                                                             | > 800 m/s              |                                                 |
| <b>B</b><br>Depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <b>Vs30</b> compresi tra 360 m/s e 800 m/s ovvero resistenza penetrometrica <b>Nspt</b> > 50, o coesione non drenata <b>Cu</b> > 250 kPa. | > 360 m/s<br>< 800 m/s | N <sub>spt</sub> > 50<br>Cu > 250 kPa           |
| <b>C</b><br>Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di <b>Vs30</b> compresi 180 m/s e 360 m/s (15 < <b>Nspt</b> < 50, 70 < <b>Cu</b> < 250 kPa).                                                                                      | > 180 m/s<br>< 360 m/s | 15 < N <sub>spt</sub> < 50<br>70 < Cu < 250 kPa |
| <b>D</b><br>Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di <b>Vs30</b> < 180 m/s ( <b>Nspt</b> < 15, <b>Cu</b> < 70 kPa).                                                                                                                                                               | < 180 m/s              | N <sub>spt</sub> < 15<br>Cu < 70 kPa            |
| <b>E</b><br>Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di <b>Vs30</b> simili a quelli dei tipi C e D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su un substrato di materiale più rigido con <b>Vs30</b> > 800 m/s.                                                                                                                            | < 360 m/s              |                                                 |
| <b>S<sub>1</sub></b><br>Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità (Ip > 40) e contenuto d'acqua, caratterizzati da valori di <b>Vs30</b> < 100 m/s                                                                                                                          | < 100 m/s              |                                                 |
| <b>S<sub>2</sub></b><br>Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.                                                                                                                                                                                                       |                        |                                                 |

## VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ

Sulla base dei risultati dei dati e degli studi analizzati le aree di trasformazione vengono caratterizzate, per aree omogenee, dal punto di vista delle pericolosità.

Di seguito ai sensi di quanto previsto DPGR n. 53/R del 25 ottobre 2011 - Regolamento di attuazione dell'art. 62 della LR 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche, viene valutata la pericolosità distinguendo aree a pericolarità geologica, aree a pericolarità idraulica, aree con problematiche idrogeologiche, aree a pericolarità sismica locale.

L'elenco che segue sintetizza le aree in variante e le relative pericolosità individuate.

Le aree oggetto di variante in termini di pericolosità geologica sono state classificate come aree a PERICOLOSITA' GEOLOGICA MEDIA(G.2): in quanto sulla base dei dati disponibili le aree risultano da un punto di vista litologico-geotecnico con una bassa propensione al dissesto.

Dal punto di vista della pericolosità idraulica la tabella sottostante definisce la classificazione assegnata alle varie aree. Tale classificazione deriva dall'analisi illustrata nel capitolo "Pericolosità e vulnerabilità – PRI –PAI – PIT – PTC – PS"

In termini di pericolosità sismica locale le aree in variante sono state classificate come aree a PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA MEDIA(S.2): in quanto ritenute, dai dati disponibili, zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3)

| Codice cartografia | Previsioni            | Pericolosità<br>53/R |              |           |
|--------------------|-----------------------|----------------------|--------------|-----------|
|                    |                       | Geologica            | Idraulica    | Sismica   |
| <b>A1</b>          | Vedi tabella 1        | <b>G2</b>            | <b>I4</b>    | <b>S2</b> |
| <b>B1</b>          | Vedi tabella 1        | <b>G2</b>            | <b>I4</b>    | <b>S2</b> |
| <b>C1</b>          | Vedi tabella 1        | <b>G2</b>            | <b>I4</b>    | <b>S2</b> |
| <b>D1</b>          | Vedi tabella 1        | <b>G2</b>            | <b>I3-I2</b> | <b>S2</b> |
| <b>E1</b>          | <b>Vedi tabella 1</b> | <b>G2</b>            | <b>I4</b>    | <b>S2</b> |



## 1.8 CARTE PERICOLOSITÀ DA PS

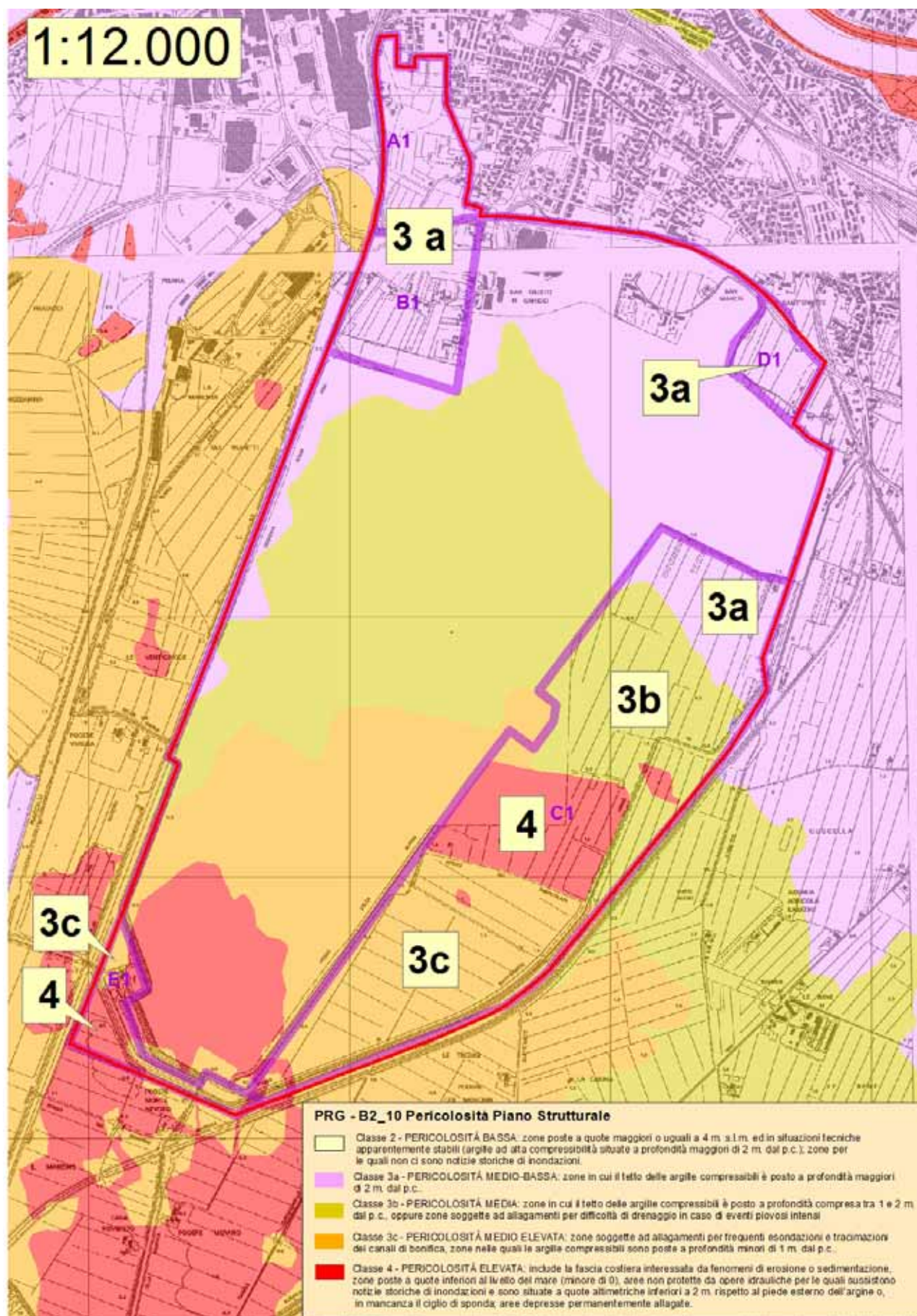


Fig. 19 – Pericolosità Piano Strutturale



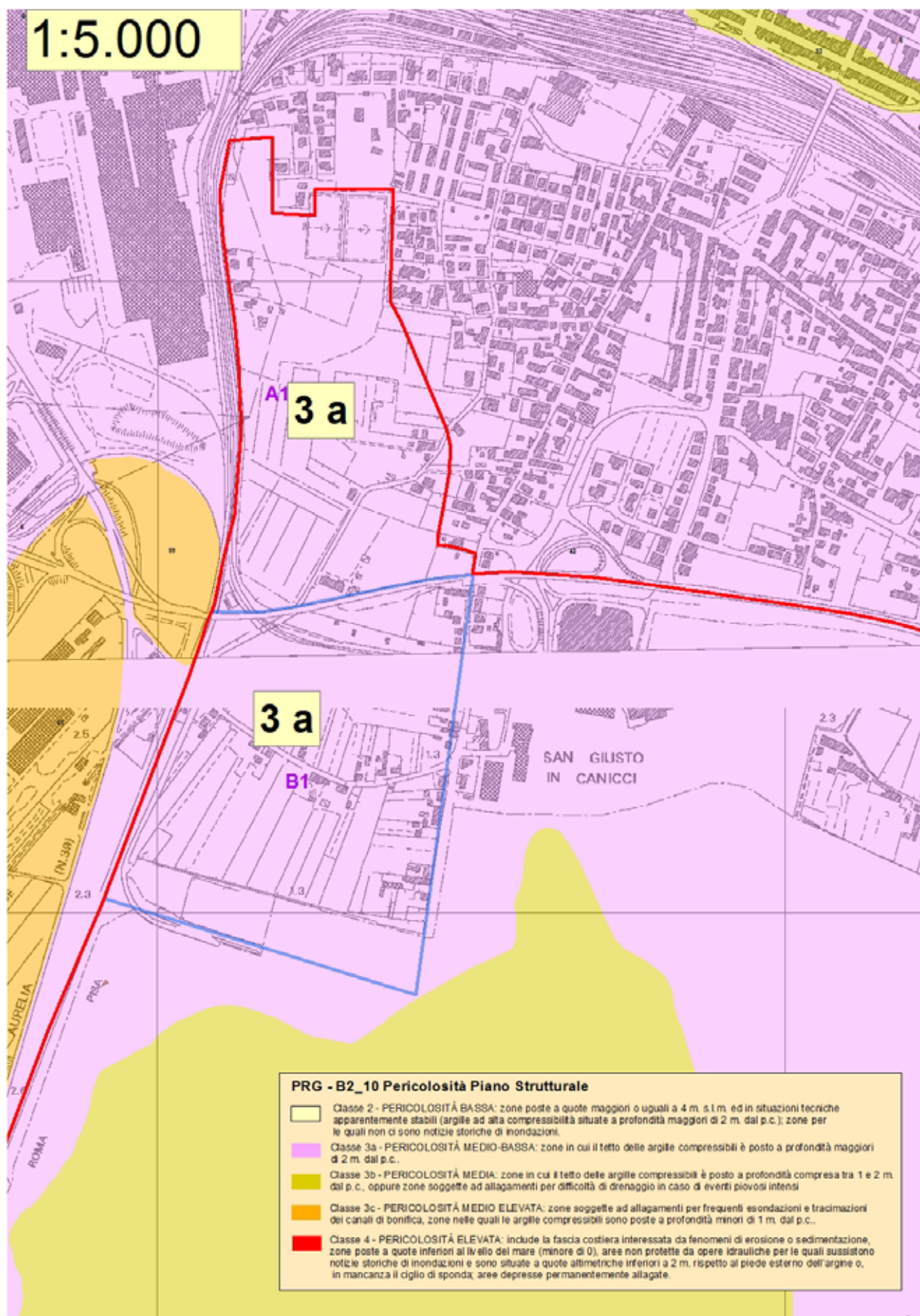


Fig. 20 – Dettaglio Pericolosità Piano Strutturale

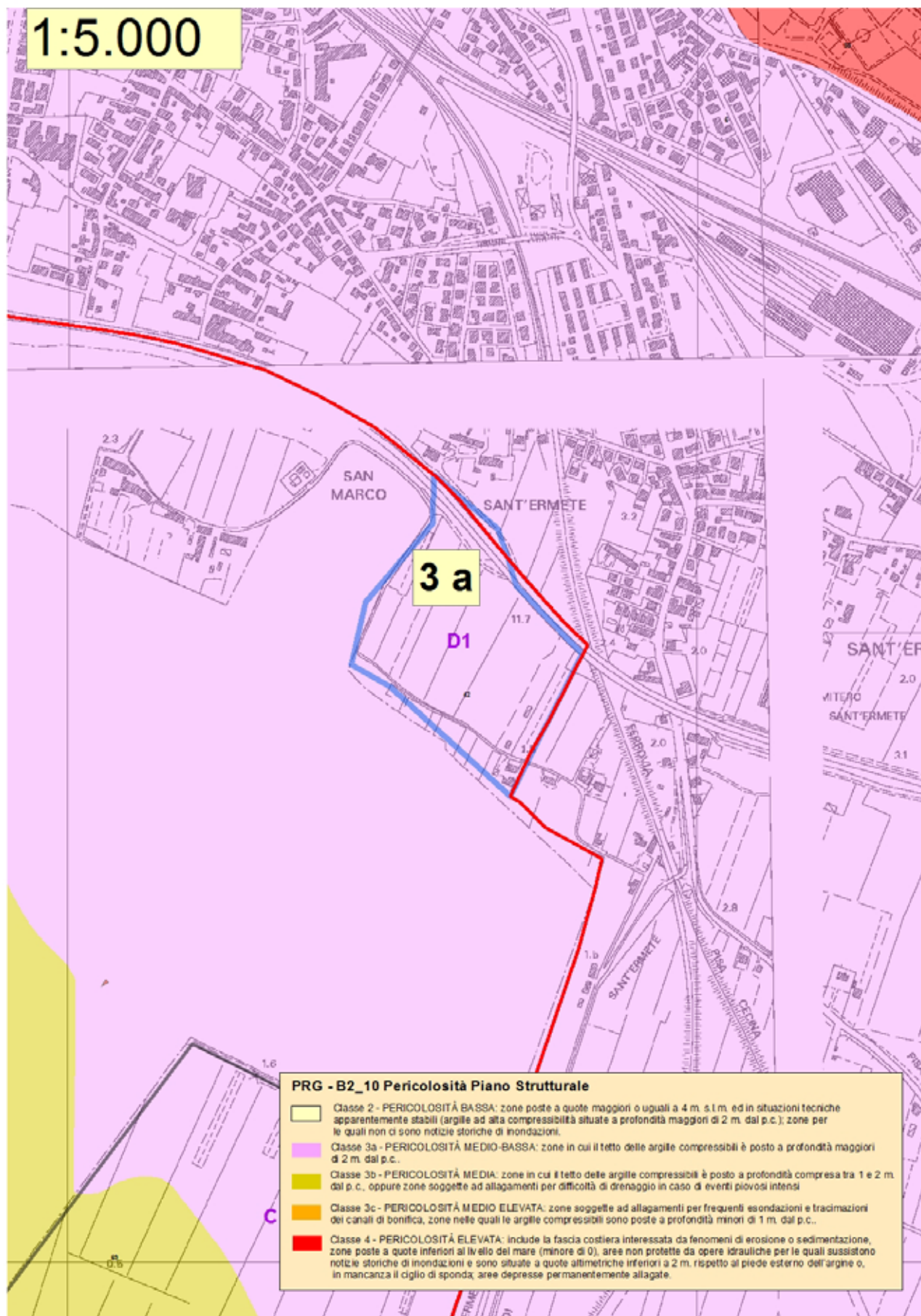


Fig. 21 – Dettaglio Pericolosità Piano Strutturale



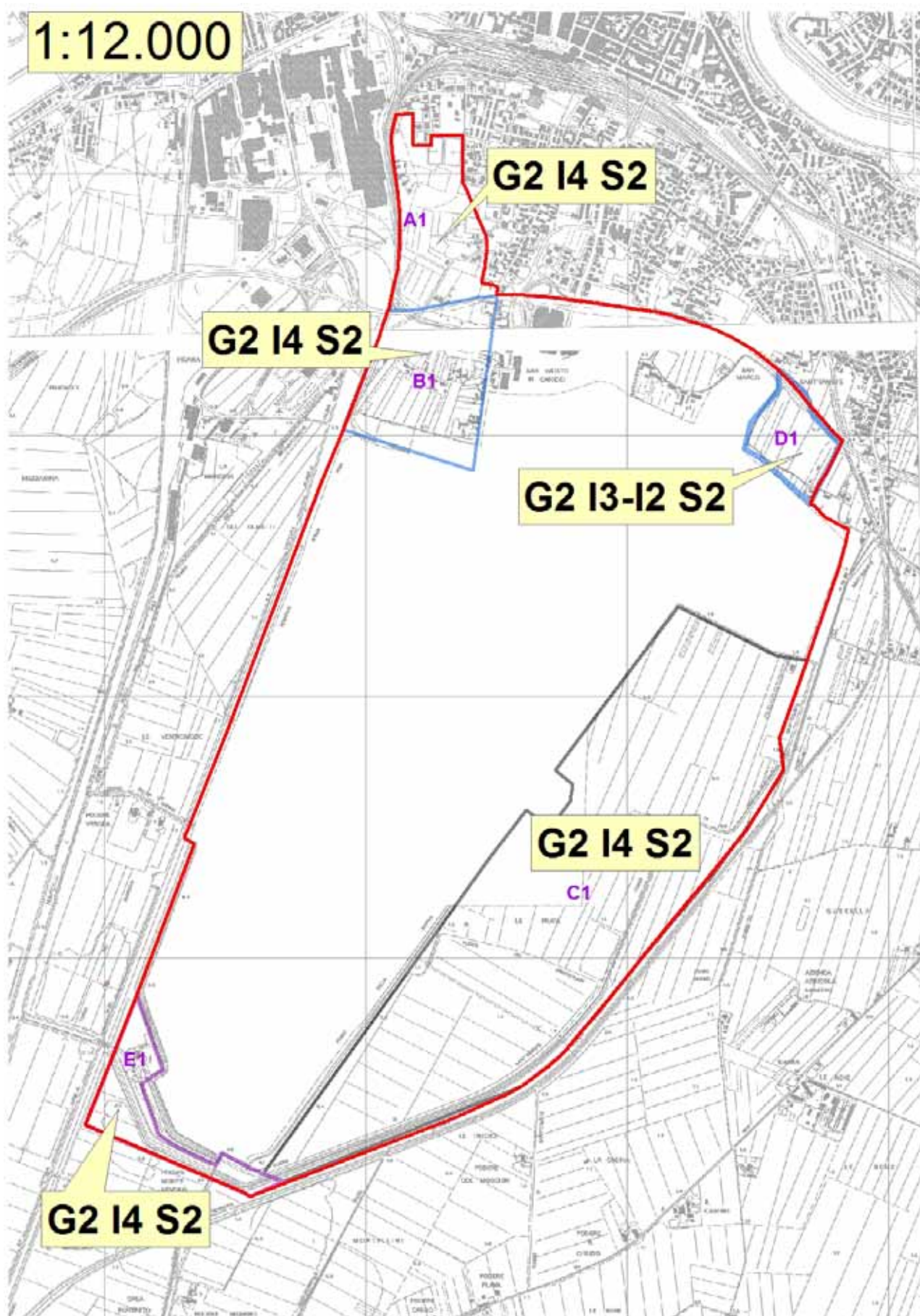


Fig. 22 – nuova classificazione di Pericolosità 53/R



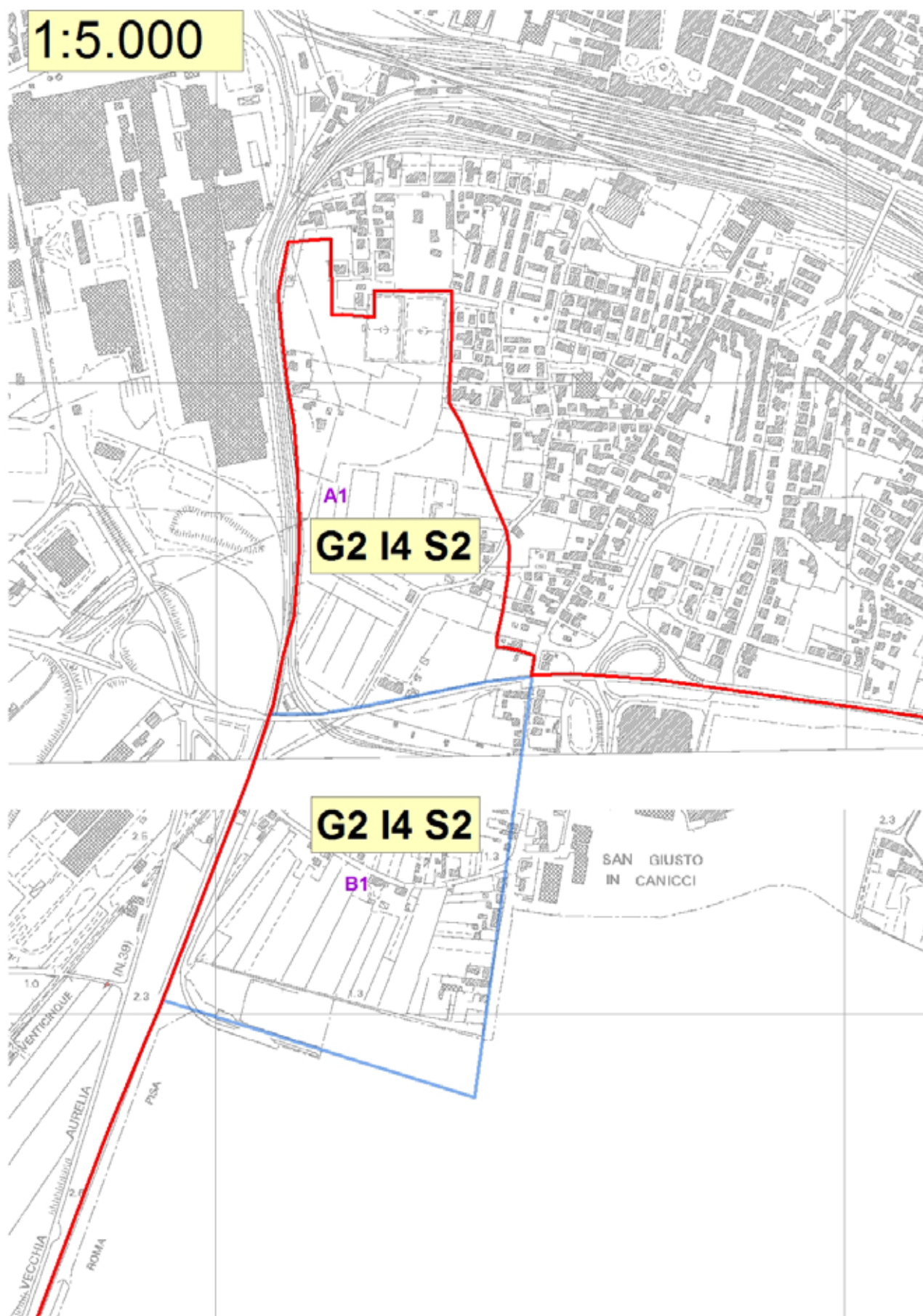


Fig. 23 – Dettaglio nuova classificazione di Pericolosità 53/R

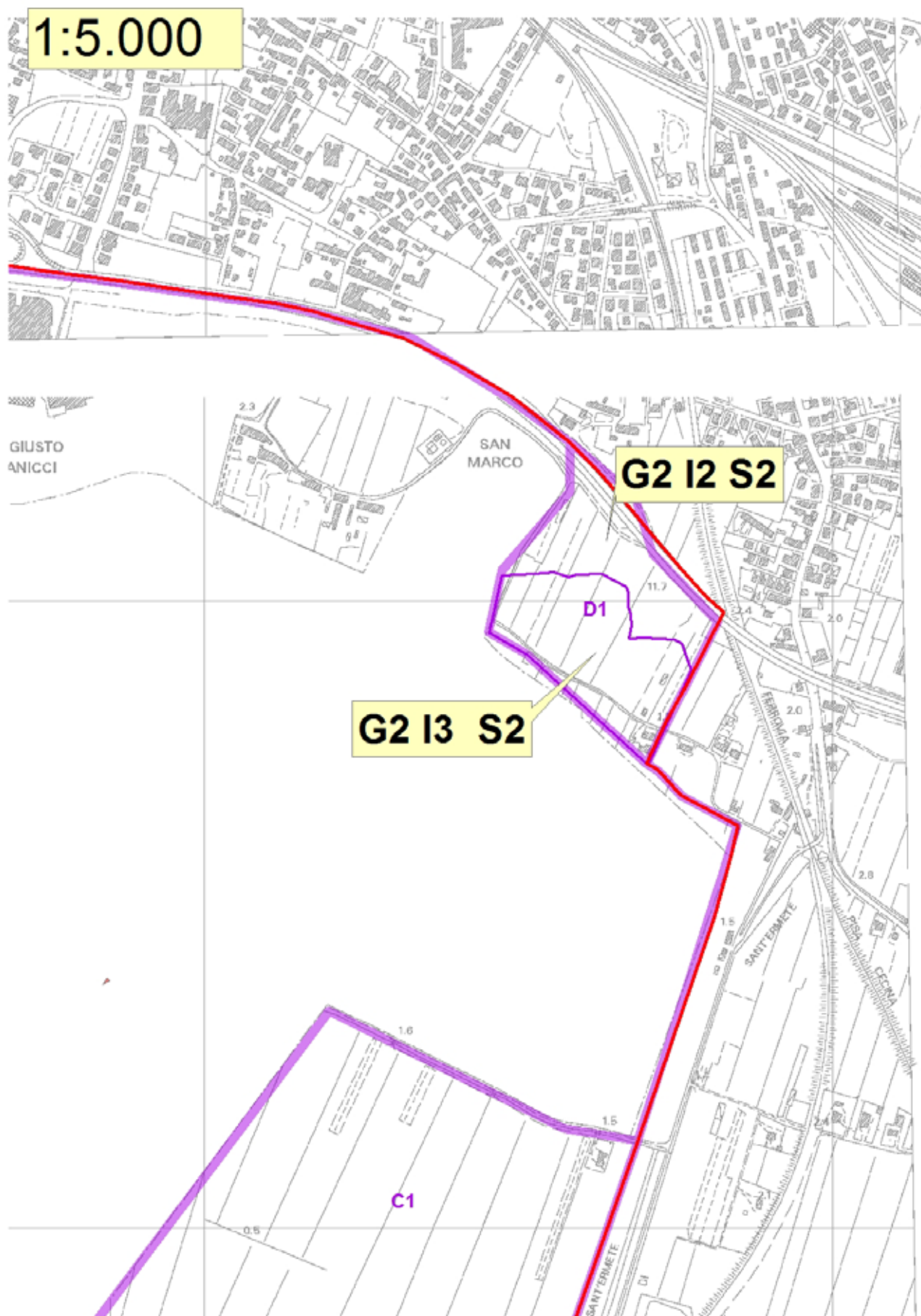
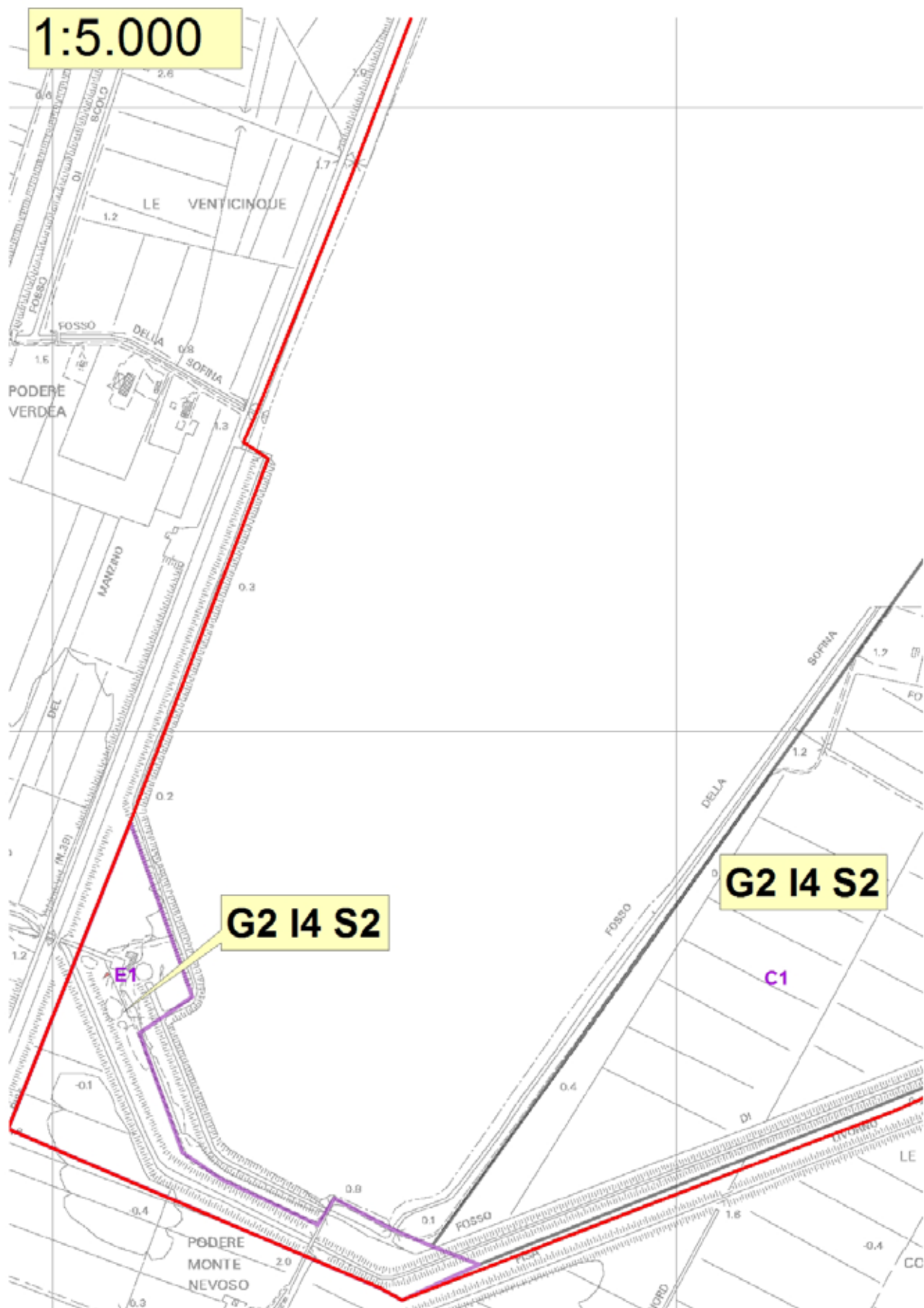


Fig. 24 – Dettaglio nuova classificazione di Pericolosità 53/R





| Codice cartografia | Previsioni     | Pericolosità ai sensi della 53/R |              |           | Pericolosità PS          |
|--------------------|----------------|----------------------------------|--------------|-----------|--------------------------|
|                    |                | Geologica                        | Idraulica    | Sismic    |                          |
| <b>A1</b>          | Vedi tabella 1 | <b>G2</b>                        | <b>I4</b>    | <b>S2</b> | <b>Classe 3a</b>         |
| <b>B1</b>          | Vedi tabella 1 | <b>G2</b>                        | <b>I4</b>    | <b>S2</b> | <b>Classe 3a</b>         |
| <b>C1</b>          | Vedi tabella 1 | <b>G2</b>                        | <b>I4</b>    | <b>S2</b> | <b>Classe 3a-3b-3c-4</b> |
| <b>D1</b>          | Vedi tabella 1 | <b>G2</b>                        | <b>I3-I2</b> | <b>S2</b> | <b>Classe 3a</b>         |
| <b>E1</b>          | Vedi tabella 1 | <b>G2</b>                        | <b>I4</b>    | <b>S2</b> | <b>Classe 3c-4</b>       |

## CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In merito alle considerazioni esposte nei paragrafi precedenti, non si rilevano cause ostative rilevanti di carattere geologico, geotecnico e idrologico-idraulico per la Proposta di variante al Piano Strutturale.

Pisa, ottobre 2013

Dott. Geol. MARCO REDINI





*ALLEGATI*





## PISA MS1, PISA 01 1

Strumento: TRZ-0195/01-12

Inizio registrazione: 04/05/00 00:06:26 Fine registrazione: 04/05/00 00:46:26

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h40'00".

Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

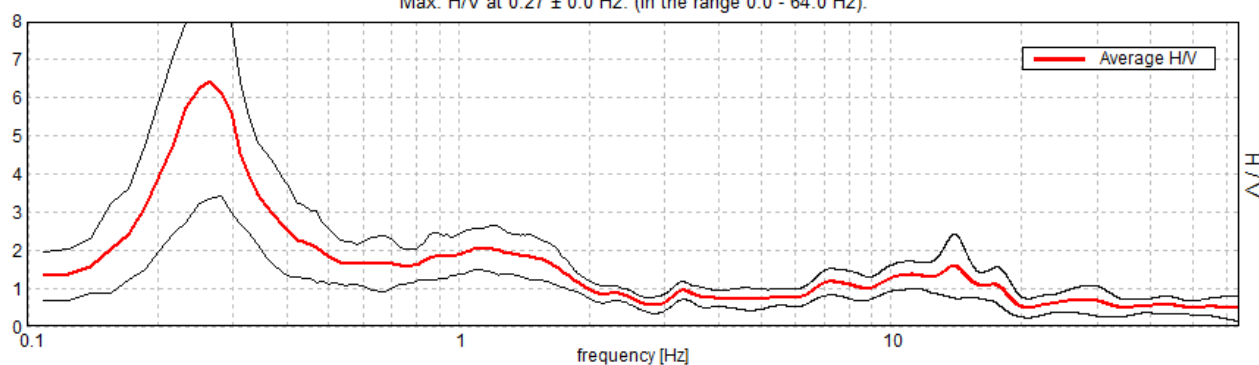
Lunghezza finestre: 40 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

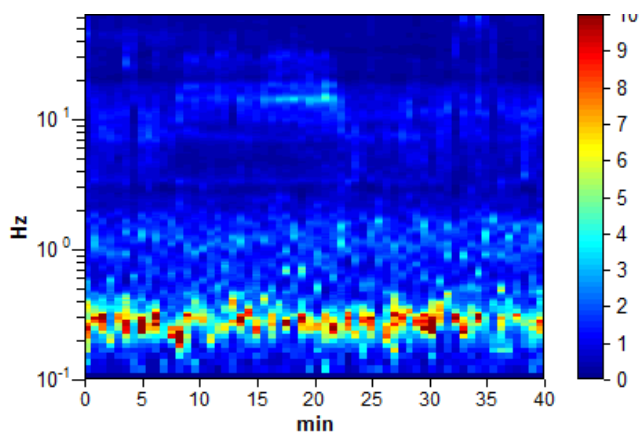
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

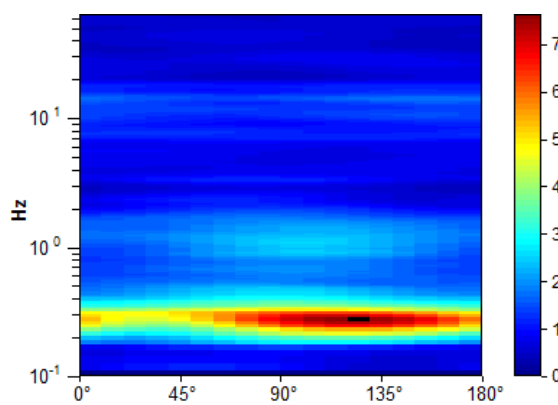
Max. H/V at  $0.27 \pm 0.0$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



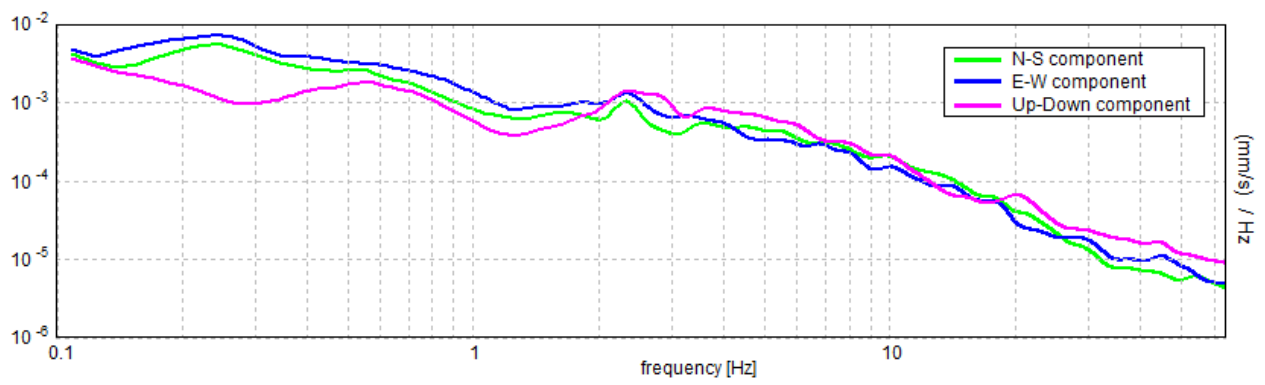
### SERIE TEMPORALE H/V



### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI





[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $0.27 \pm 0.0$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

|                                                                                                                                        |                        |    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----|----|
| $f_0 > 10 / L_w$                                                                                                                       | $0.27 > 0.25$          | OK |    |
| $n_c(f_0) > 200$                                                                                                                       | $637.5 > 200$          | OK |    |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Superato 3 volte su 26 |    | NO |

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

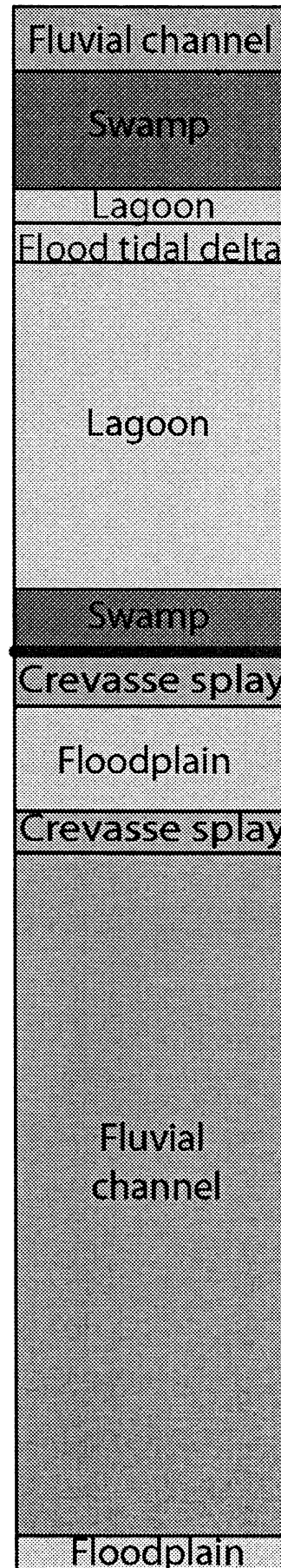
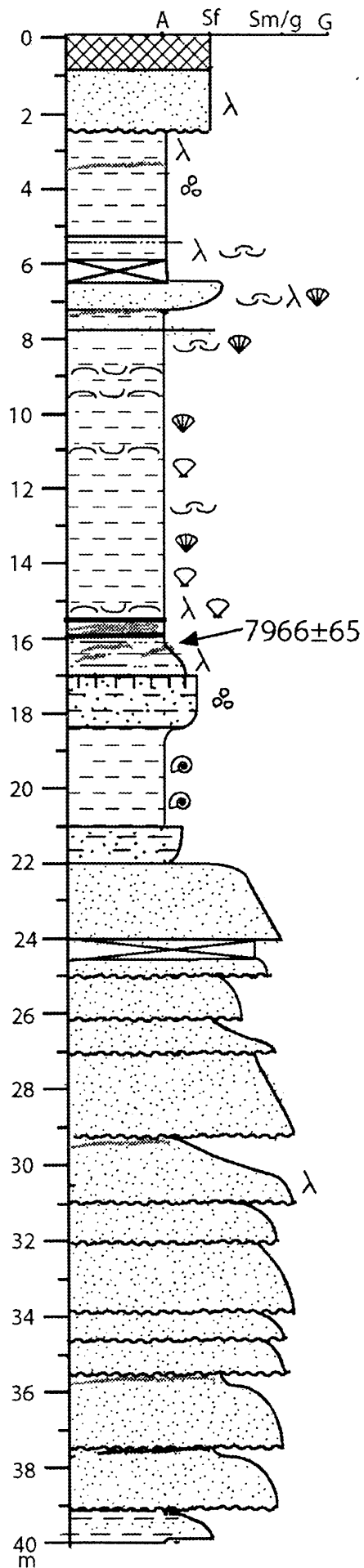
|                                                              |                     |    |  |
|--------------------------------------------------------------|---------------------|----|--|
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$    | 0.188 Hz            | OK |  |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$     | 0.359 Hz            | OK |  |
| $A_0 > 2$                                                    | $6.44 > 2$          | OK |  |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.00367  < 0.05$  | OK |  |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                                | $0.00097 < 0.05313$ | OK |  |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$                                | $1.5422 < 2.5$      | OK |  |

|                        |                                                                                                                                             |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L_w$                  | lunghezza della finestra                                                                                                                    |
| $n_w$                  | numero di finestre usate nell'analisi                                                                                                       |
| $n_c = L_w n_w f_0$    | numero di cicli significativi                                                                                                               |
| $f$                    | frequenza attuale                                                                                                                           |
| $f_0$                  | frequenza del picco H/V                                                                                                                     |
| $\sigma_f$             | deviazione standard della frequenza del picco H/V                                                                                           |
| $\varepsilon(f_0)$     | valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                                                               |
| $A_0$                  | ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$                                                                                               |
| $A_{H/V}(f)$           | ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$                                                                                                 |
| $f^-$                  | frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$                                                                             |
| $f^+$                  | frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$                                                                              |
| $\sigma_A(f)$          | deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa |
| $\sigma_{\log H/V}(f)$ | deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$                                                                                        |
| $\theta(f_0)$          | valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$                                                                 |

**Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$**

| Intervallo di freq. [Hz]                        | < 0.2      | 0.2 – 0.5 | 0.5 – 1.0  | 1.0 – 2.0  | > 2.0      |
|-------------------------------------------------|------------|-----------|------------|------------|------------|
| $\varepsilon(f_0)$ [Hz]                         | $0.25 f_0$ | $0.2 f_0$ | $0.15 f_0$ | $0.10 f_0$ | $0.05 f_0$ |
| $\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$               | 3.0        | 2.5       | 2.0        | 1.78       | 1.58       |
| $\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$ | 0.48       | 0.40      | 0.30       | 0.25       | 0.20       |

# Core M3



TS

## PISA MS1, PISA02 2

Strumento: TRZ-0195/01-12

Inizio registrazione: 04/05/00 01:21:30 Fine registrazione: 04/05/00 02:01:29

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h40'00". (Analizzato da 60 s per 39. min)

Freq. campionamento: 128 Hz

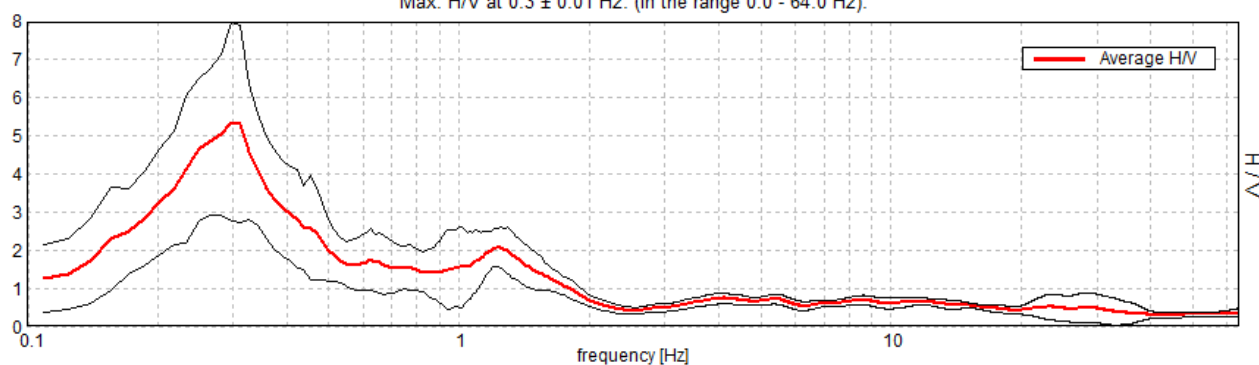
Lunghezza finestre: 40 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

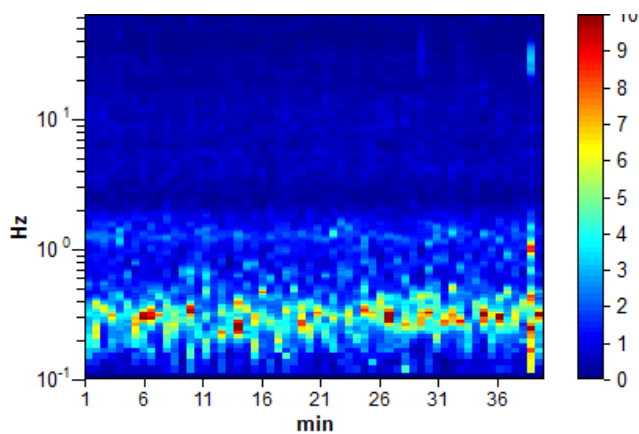
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

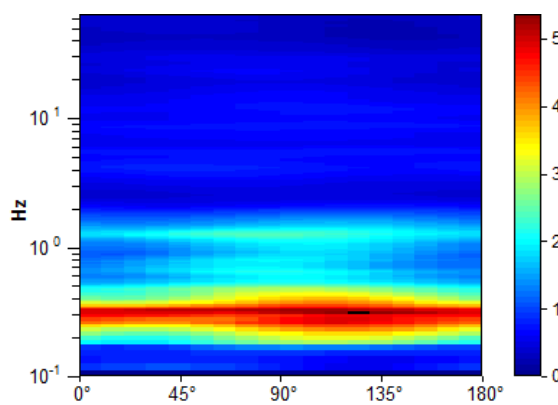
Max. H/V at  $0.3 \pm 0.01$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



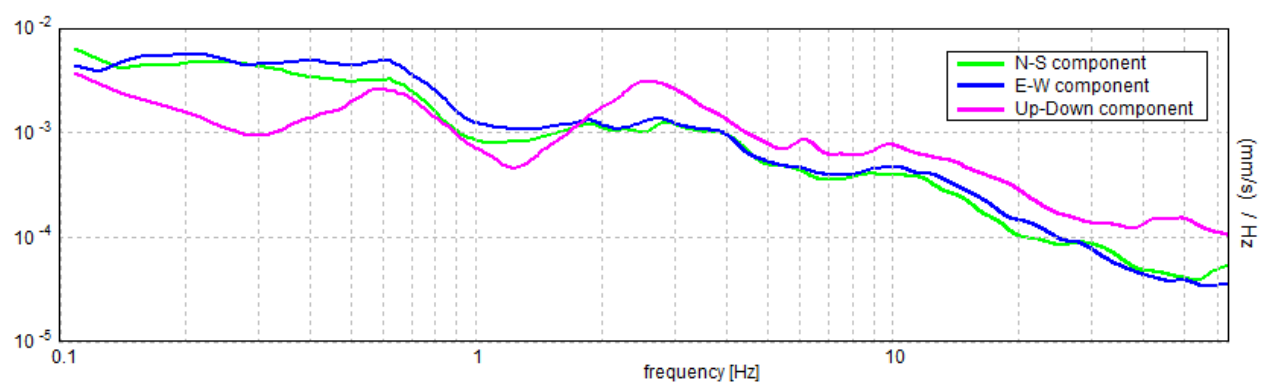
### SERIE TEMPORALE H/V



### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI





[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $0.3 \pm 0.01$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

|                                                                                                                                        |                        |    |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$                                                                                                                       | $0.30 > 0.25$          | OK |  |
| $n_c(f_0) > 200$                                                                                                                       | $688.8 > 200$          | OK |  |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Superato 0 volte su 30 | OK |  |

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

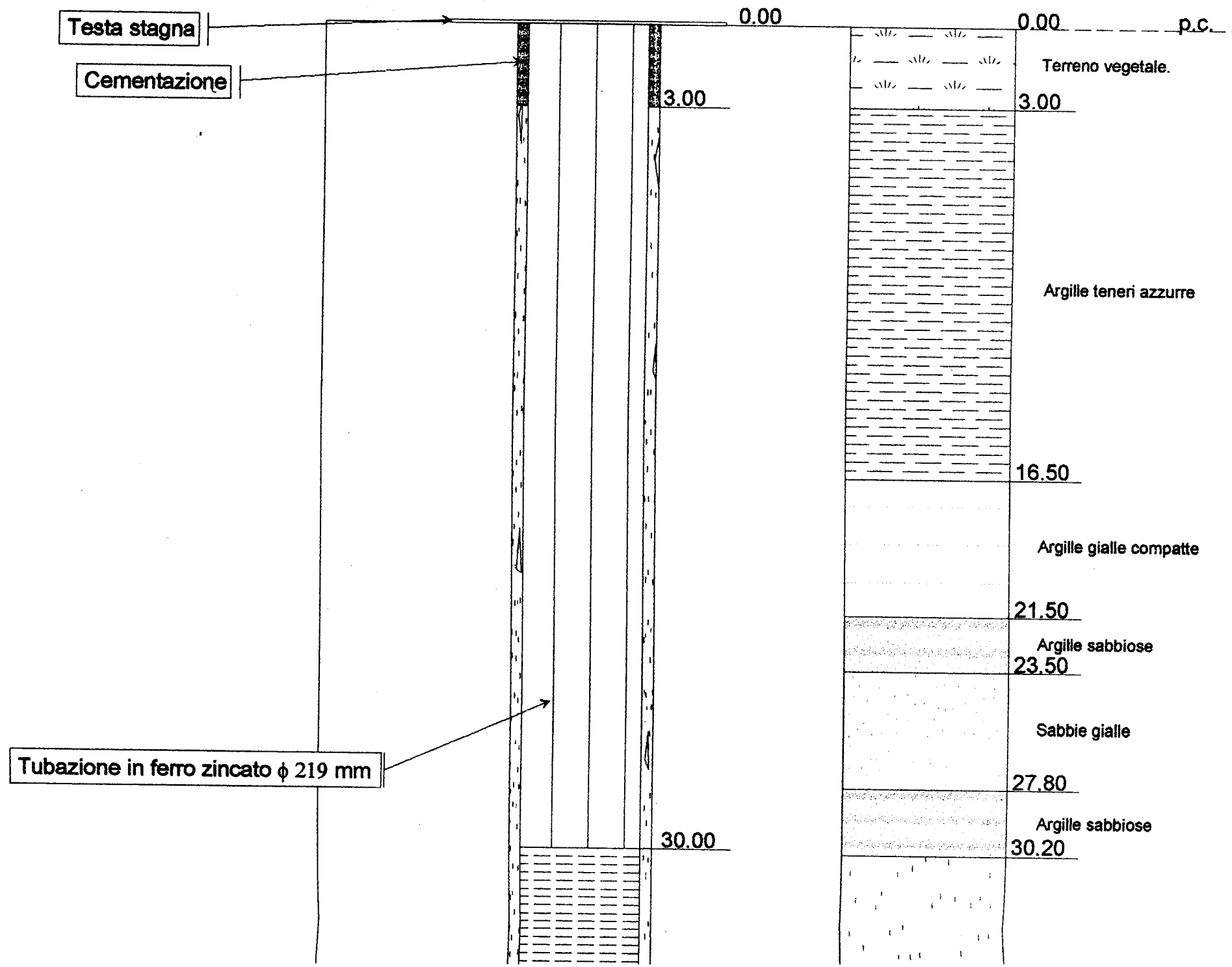
|                                                              |                     |    |  |
|--------------------------------------------------------------|---------------------|----|--|
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$    | 0.172 Hz            | OK |  |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$     | 0.438 Hz            | OK |  |
| $A_0 > 2$                                                    | $5.37 > 2$          | OK |  |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.01027  < 0.05$  | OK |  |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                                | $0.00305 < 0.05938$ | OK |  |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$                                | $1.2871 < 2.5$      | OK |  |

|                        |                                                                                                                                             |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L_w$                  | lunghezza della finestra                                                                                                                    |
| $n_w$                  | numero di finestre usate nell'analisi                                                                                                       |
| $n_c = L_w n_w f_0$    | numero di cicli significativi                                                                                                               |
| $f$                    | frequenza attuale                                                                                                                           |
| $f_0$                  | frequenza del picco H/V                                                                                                                     |
| $\sigma_f$             | deviazione standard della frequenza del picco H/V                                                                                           |
| $\varepsilon(f_0)$     | valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$                                                               |
| $A_0$                  | ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$                                                                                               |
| $A_{H/V}(f)$           | ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$                                                                                                 |
| $f^-$                  | frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$                                                                             |
| $f^+$                  | frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$                                                                              |
| $\sigma_A(f)$          | deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa |
| $\sigma_{\log H/V}(f)$ | deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$                                                                                        |
| $\theta(f_0)$          | valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$                                                                 |

### Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$

| Intervallo di freq. [Hz]                        | < 0.2      | 0.2 – 0.5 | 0.5 – 1.0  | 1.0 – 2.0  | > 2.0      |
|-------------------------------------------------|------------|-----------|------------|------------|------------|
| $\varepsilon(f_0)$ [Hz]                         | $0.25 f_0$ | $0.2 f_0$ | $0.15 f_0$ | $0.10 f_0$ | $0.05 f_0$ |
| $\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$               | 3.0        | 2.5       | 2.0        | 1.78       | 1.58       |
| $\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$ | 0.48       | 0.40      | 0.30       | 0.25       | 0.20       |

12501



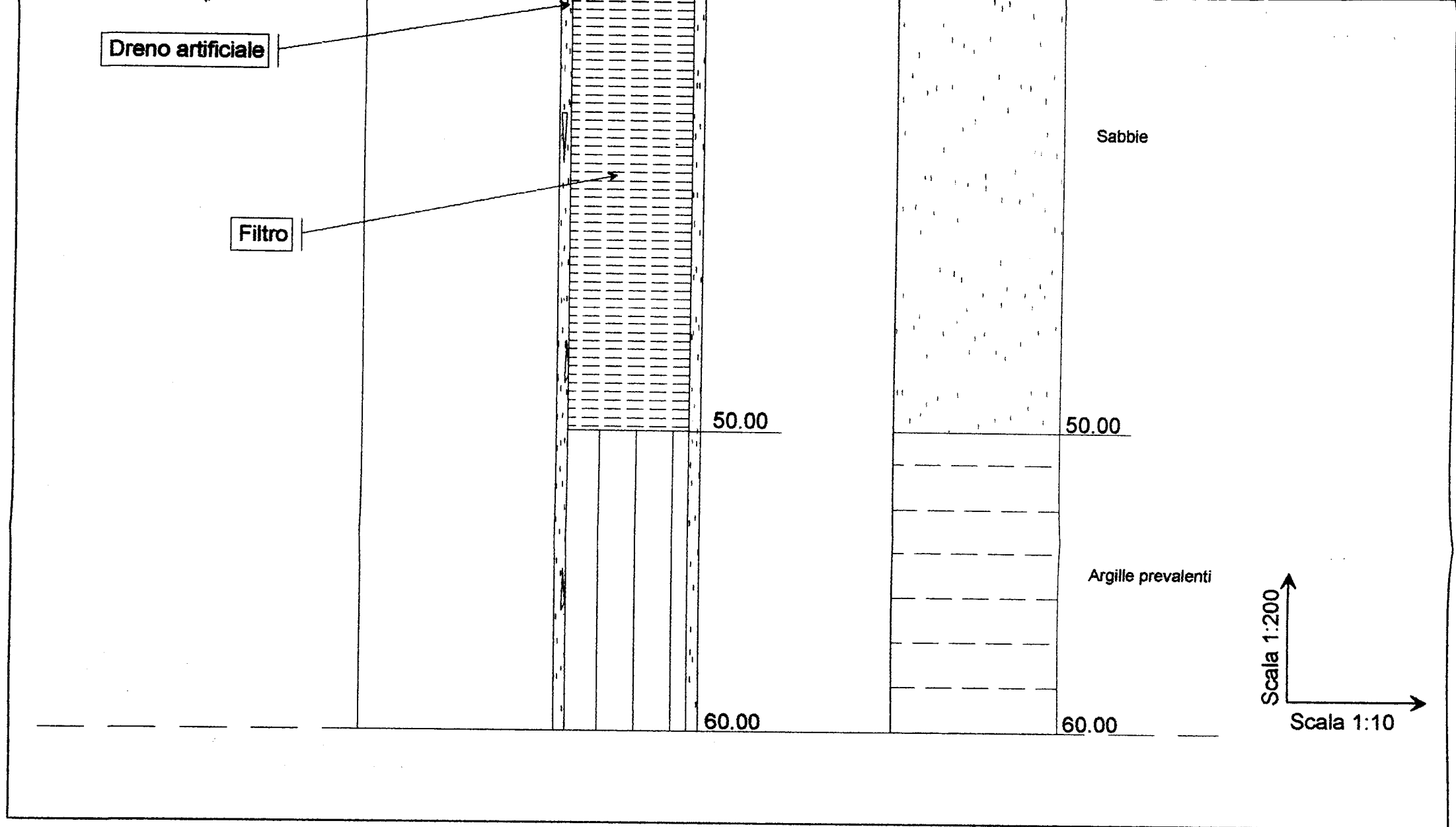
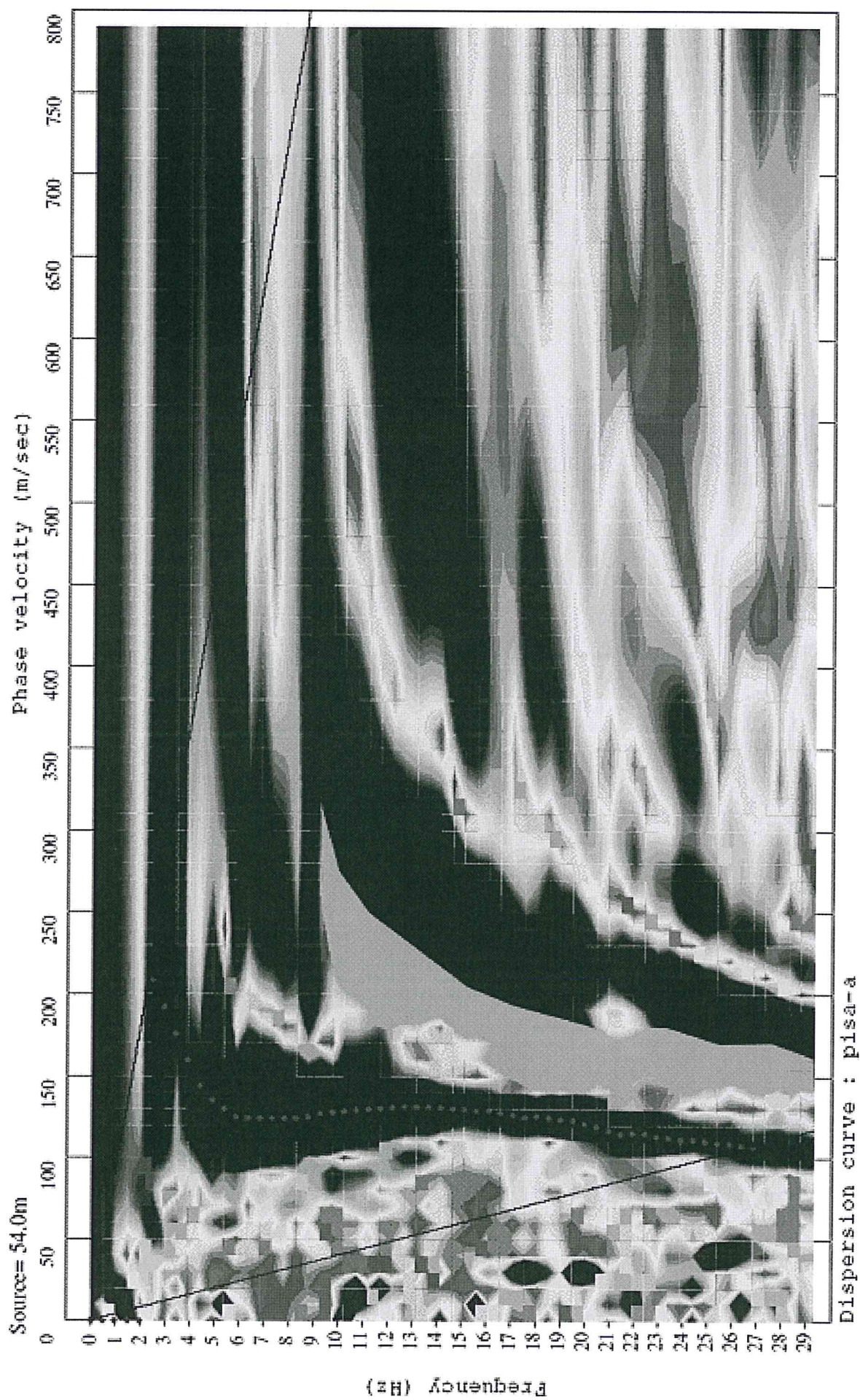


Fig. 7 Schema pozzo e relativa stratigrafia

**ANALISI MASW - linea sismica Pisa - a  
loc. Pisa Aeroporto, Comune di Pisa (PI)**

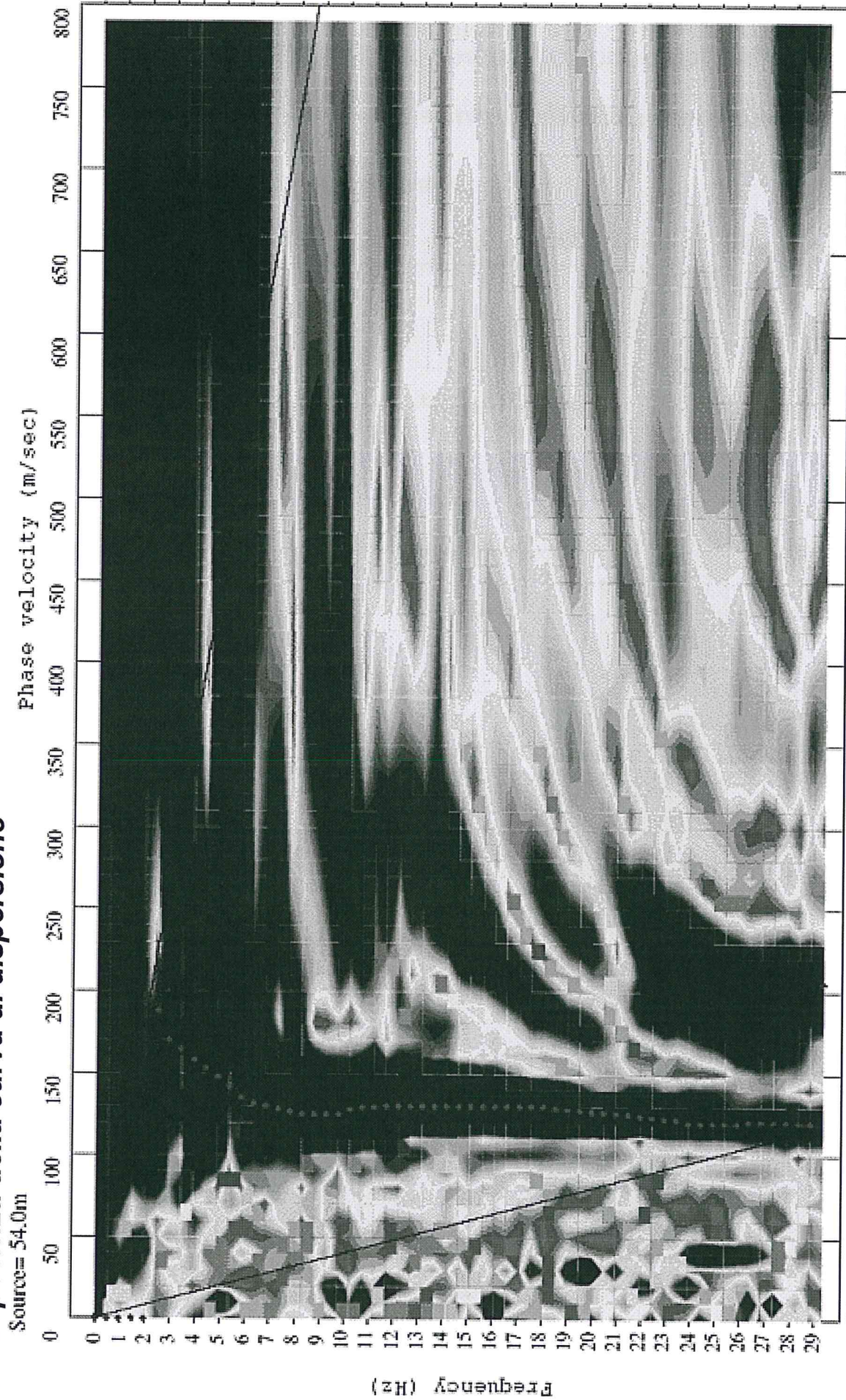
***spettro di potenza della curva di dispersione***





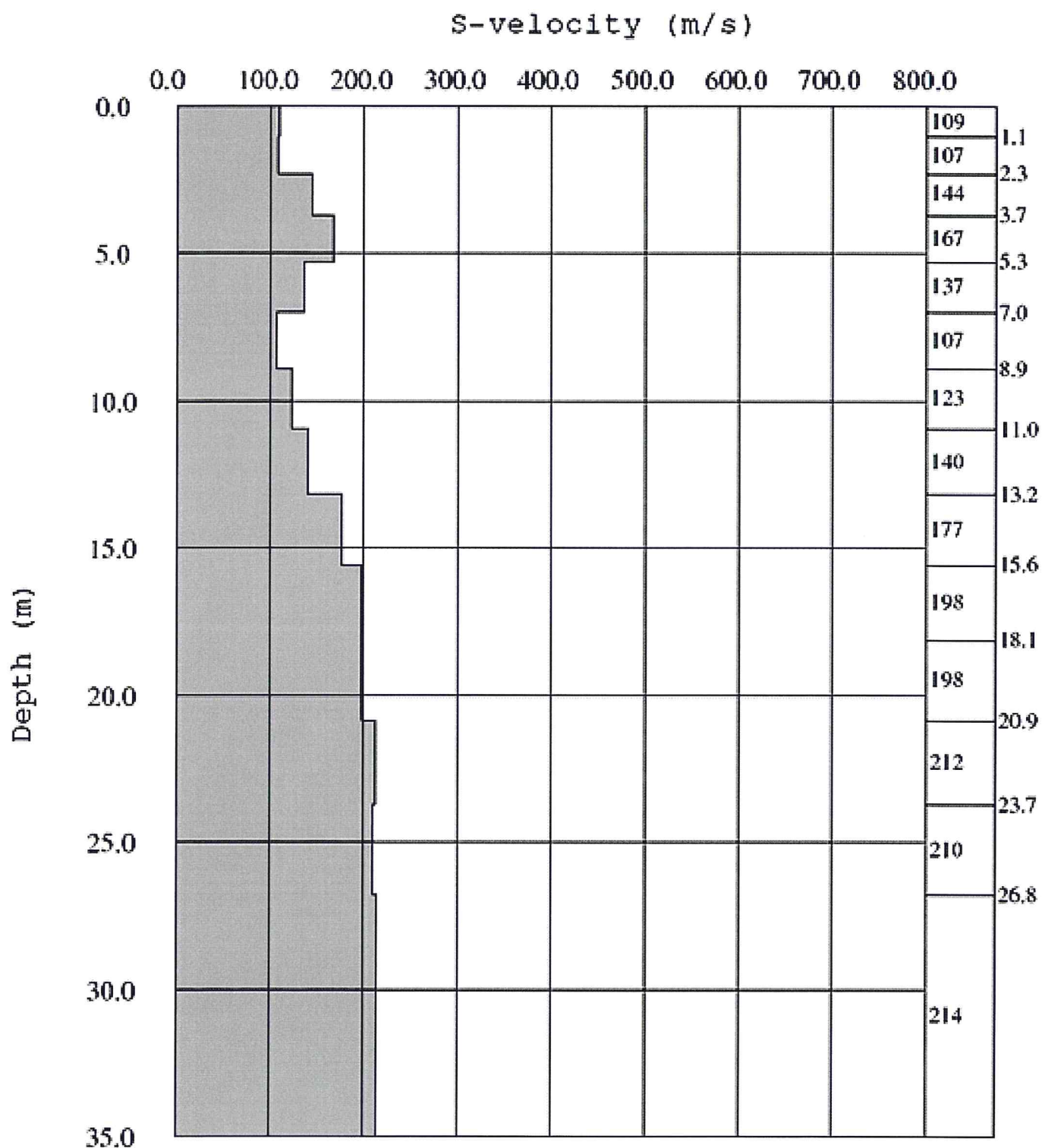
**ANALISI MASW - linea sismica Pisa - b  
loc. Pisa Aeroporto, Comune di Pisa (PI)**

***spettro di potenza della curva di dispersione***



**ANALISI MASW - linea sismica Pisa - a**  
**Loc. Pisa Aeroporto, Comune di Pisa (PI)**

***modello di velocità delle onde S***



S-velocity model :

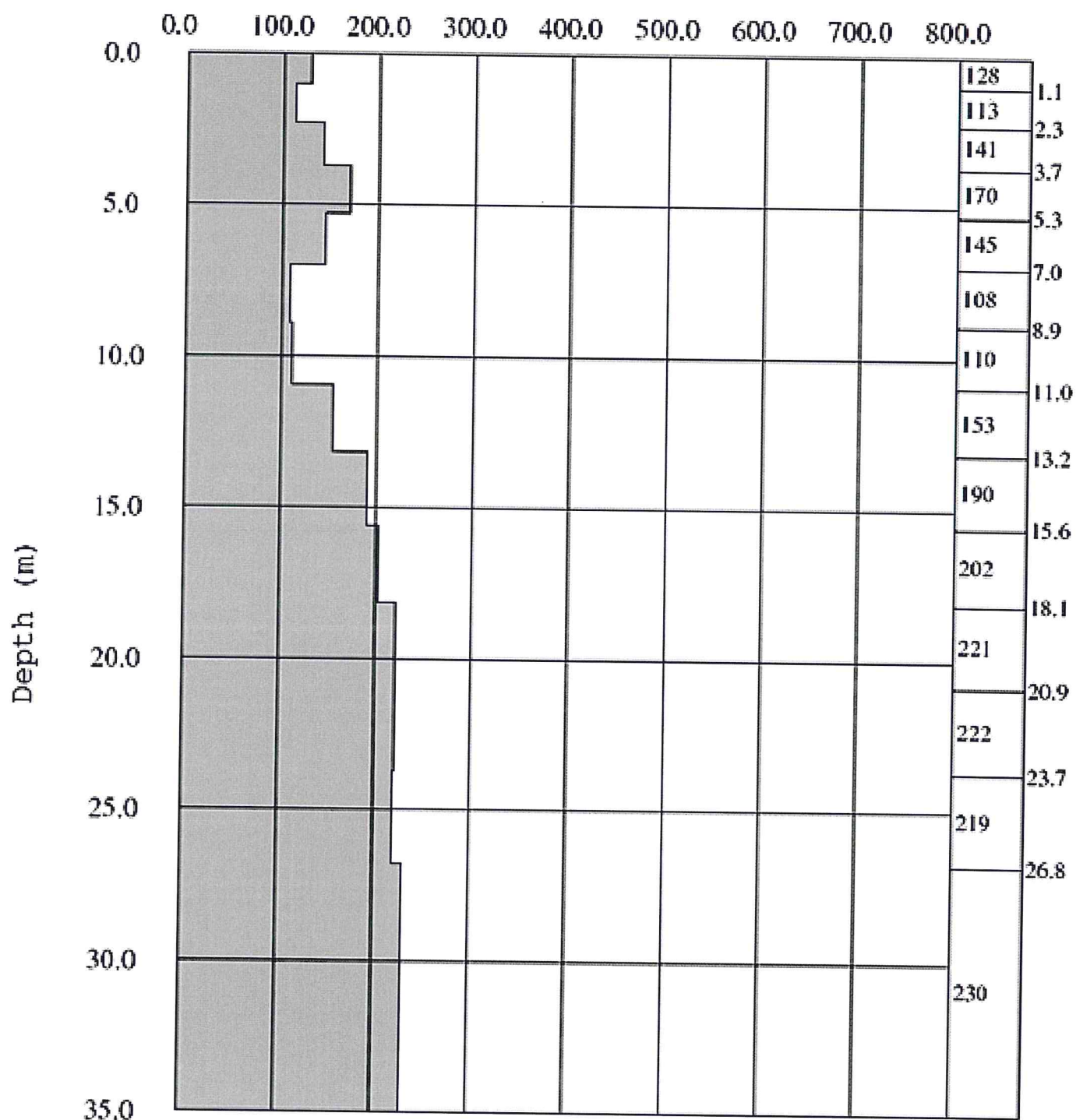
Average Vs 30m = 161.2 m/s



**ANALISI MASW - linea sismica Pisa - b**  
**Loc. Pisa Aeroporto, Comune di Pisa (PI)**

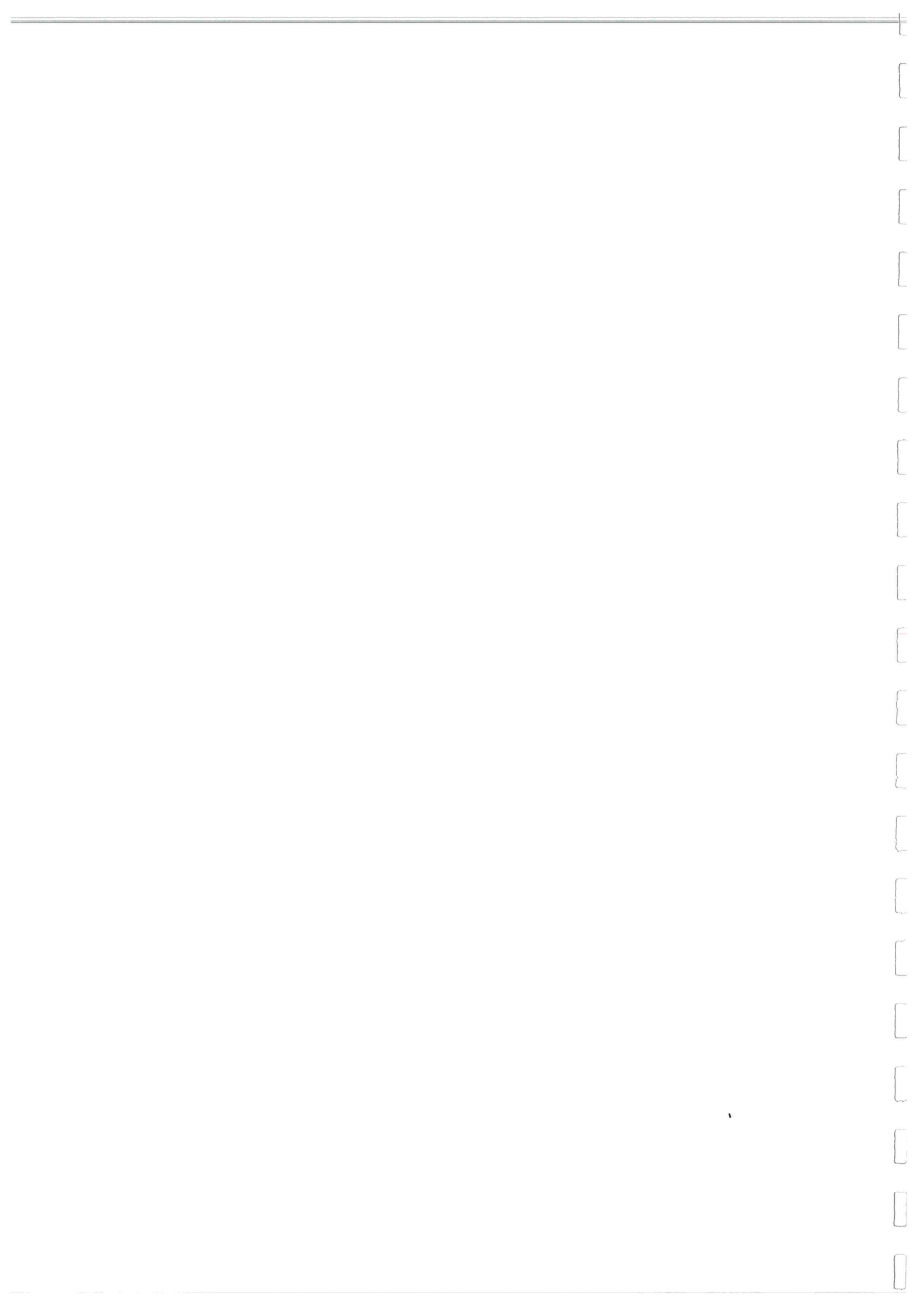
**modello di velocità delle onde S**

S-velocity (m/s)



S-velocity model :

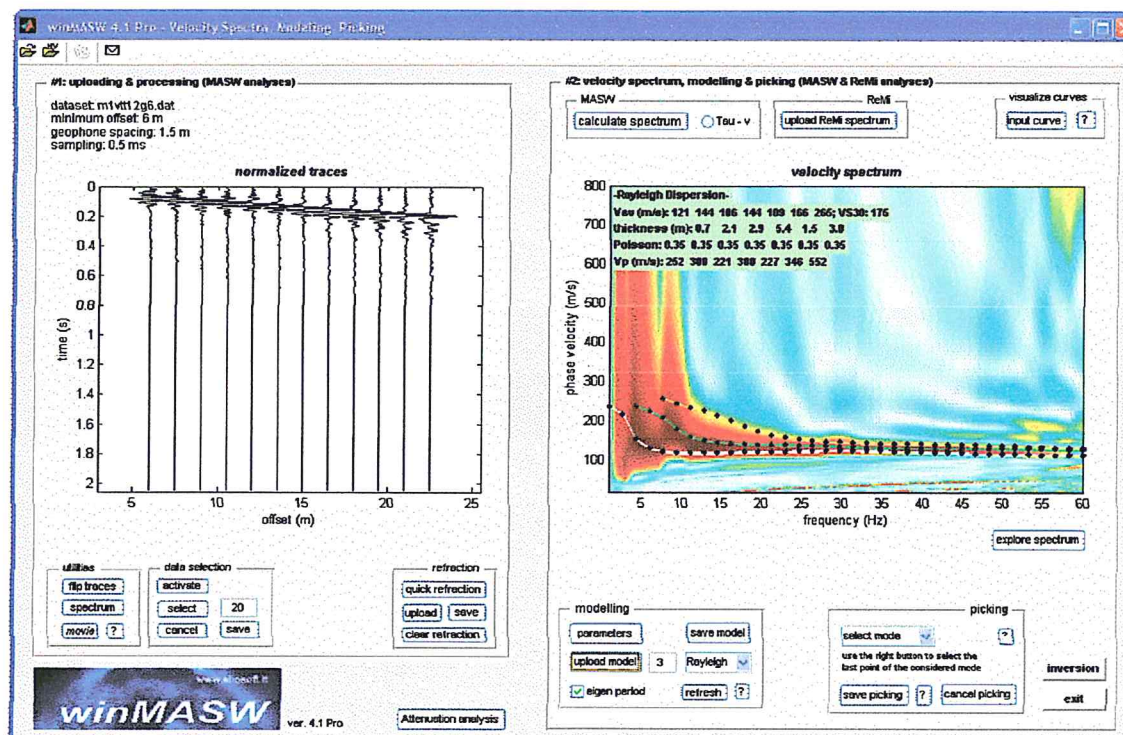
Average Vs 30m = 167.4 m/s





Rif.: j027\_10.02.08\_vtt.doc

7

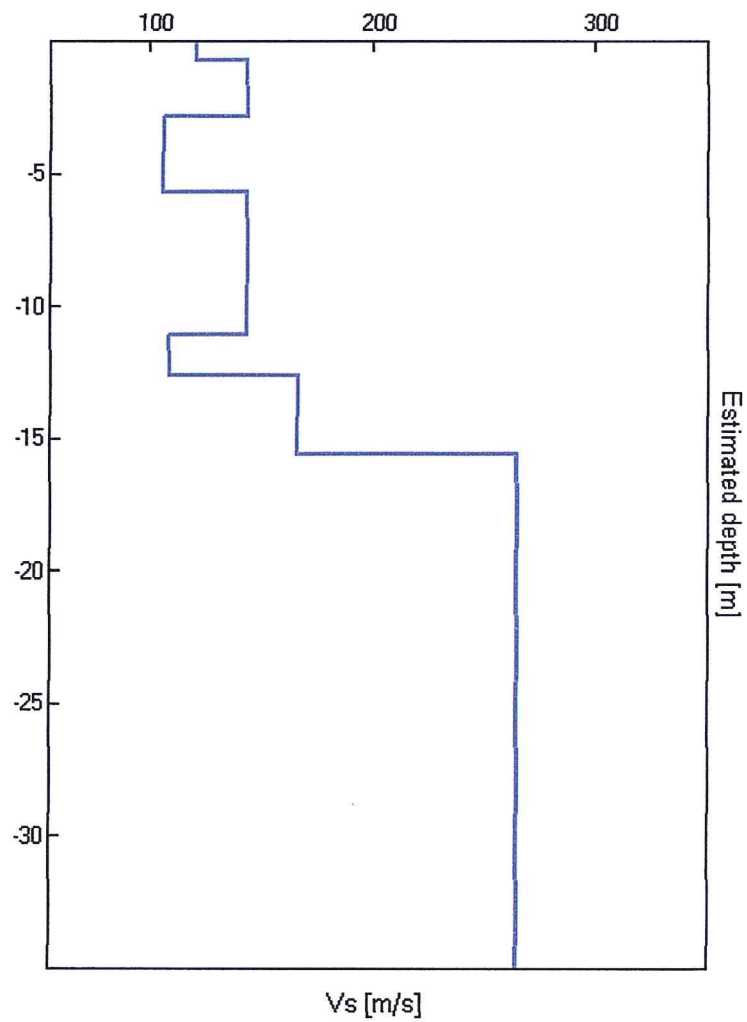


Indagine MASW. Sismogramma, spettro di velocità e modello di dispersione.

P3 s.n.c

Via delle Sette Volte, 21  
56126 PISA  
P. IVA 01923910507

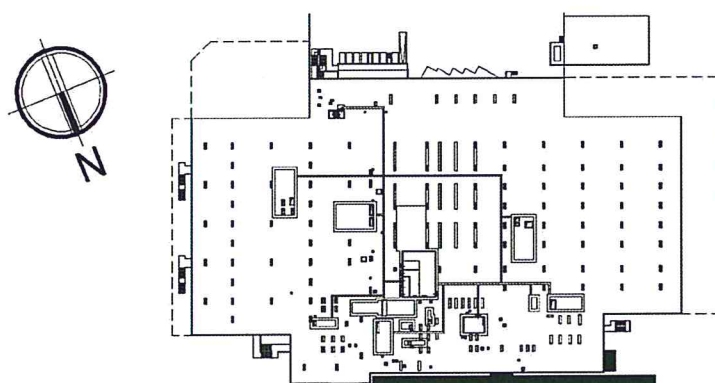
tel: 349 42 01 486 (dott. Benvenuti)  
tel: 349 59 42 280 (dott. Carnicelli)  
e.mail: posta@p3online.eu  
pec: posta@pec.p3online.eu



**Indagine MASW. Profilo verticale delle  $V_s$ .**



|      |          |                               |      |      |      |
|------|----------|-------------------------------|------|------|------|
|      |          |                               |      |      |      |
| A    | 3/2/2012 | EMISSIONE PROGETTO DEFINITIVO | SCOR | FBON | VPAS |
| REV. | DATE     | DESCRIPTIONS                  | DWG. | CECK | APP. |

|                                                                                                   |                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
|  <p>Key Plan</p> | <p>IKEA Note</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|



*This drawing is the property of Inter IKEA Systems B.V. and may, in no way other than for agreed purpose, be used, copied, reproduced or in any other manner made known to a third party, and shall after its intended use be returned to Inter IKEA Systems B.V.*  
© Inter IKEA Systems B.V.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>ASSISTENZA ALLA PROGETTAZIONE AUTORIZZATIVA</b></p> <p><b>ARCHIT. ARCHITETTI ASSOCIATI</b><br/> <b>ARCH. PAOLO BERTOLUCCI &amp; ARCH. DIAN LUGA GABRIELLI</b><br/>         Via F. Rismondo n° 29 Pisa<br/>         tel. 050-564951 e-mail: archit.pisa@libero.it<br/>         Via Sarzanese Nord n° 2762 Piano del Quercione (LU)<br/>         tel. 0584-938967 e-mail: archit.associati@libero.it</p> <p><b>Studio Arch. Marco Bottai</b><br/>         Via Ivizza, 2/b 56128 Marina di Pisa (PI)<br/>         tel. 050 35931 fax 050 35931<br/>         e-mail: m.bottai@ean.it</p> | <p><b>PROGETTO GEOTECNICO</b></p> <p> <b>STUDIO GEOTECNICO ITALIANO s.r.l.</b><br/>         Ingegneria geotecnica - Ingegneria ambientale - Ingegneria sismica e geologia applicata<br/>         Via Ripanese, 89 - 20142 - Milano<br/>         Tel. 02/5220411 - Fax 02/5691645 - info@studiogeotecnico.it</p> <p><b>STUDIO GEOTECNICO ITALIANO S.r.l.</b><br/>         Dott. Ing. Valeriano Pastore<br/>         Iscrizione Albo Ingeg. Professionisti<br/>         Provincia di Milano<br/>         N. 22123</p> |
| <p><b>PROGETTO AUTORIZZATIVO E PROGETTO ARCHITETTONICO</b></p> <p> <b>Arch. Emilio Morasso</b><br/>         Via alla Torre dell'Amore, 18/1<br/>         16146 Genova Italia<br/>         tel. +39 010 36 39 56 fax +39 010 36 75 10<br/>         studio@morasso.it www.studiomorasso.com</p>                                                                                                                                                                                                            | <p><b>PROGETTO IMPIANTI TECNOLOGICI</b></p> <p> <b>Studio Tecnico Impianti</b><br/>         Dott. Ing. Sergio Giuseppini<br/>         Viale Francesco Petrarca, 116 - 50124 FIRENZE<br/>         tel./fax. 055220203 - 0552306219<br/>         e-mail: ufficio.tecnico@studiotecnicoimpianti.it</p>                                                                                                                                                                                                                 |
| <p><b>PROGETTO PREVENZIONE INCENDI</b></p> <p> <b>Ing. Donato Mininini</b><br/> <b>SERVIZI INTEGRATI DI INGEGNERIA S.r.l.</b><br/>         Via Delf. 15 - 20122 Alibonico (VA) - tel. 0331/791.58X - fax 0331/782.152<br/>         e-mail: info@www.sidiingegneria.com</p>                                                                                                                                                                                                                               | <p><b>PROGETTO GEOTECNICO - STRUTTURALE</b></p> <p> <b>Ing. Danilo Campagna</b><br/> <b>MSC Associati S.r.l.</b><br/>         via dalchini 37/20161 milano italia<br/>         tel. 02 66204150 fax 02 66204155<br/>         milano@mcassocati.it</p> <p><b>Ing. Sergio Levati</b><br/>         via giulini 20/22100 como italia<br/>         tel. 031 266589 fax 031 266592<br/>         como@mcassocati.it</p>                                                                                                    |
| <p><b>PROGETTO OPERE IDRAULICHE</b></p> <p><b>Moglia e Piccinin ingegneri associati</b><br/>         via Novara 4 - 21013 Gorkone (VA) - Italy<br/>         tel. 0331-791.58X - fax 0331-782.152<br/>         e-mail: info@www.mogliae.com</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <p><b>PROGETTO SICUREZZA CANTIERE</b></p> <p> <b>Ing. Rocco L. SASSONE</b><br/>         Via Carlo COLLODI n. 9 - 75100 - Matera - Italy<br/>         tel. +39 0835330597-0835345310 fax. +39 0835763113<br/>         rocco.sassone@safetyikea.it<br/>         Società in possesso della Certificazione UNI EN ISO 9001:2008</p> <p></p>                                                                                        |

## PISA NAVICELLI (PI) – NEW STORE

1° TITLE: PROGETTO DEFINITIVO

2° title: RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE – ALLEGATO 7  
INDAGINI IN SITU ESEGUITE DALLA SOCIETA' PROGEO Srl (PROVA DOWN-HOLE)

P I X X 9 9

ISSBV STANDARDS Code

I N 2 RS-52 A

IKEA ITALIA STANDARDS Code DRAWINGS N.

-----







**1164 - IKEA - PISA**

**- NUOVO IKEA STORE -  
PISA  
NEL COMUNE DI NAVICELLI (PI)**

**INDAGINI DOWN HOLE  
RELAZIONE TECNICA  
(Sondaggio SDH 9)**

Data: Dicembre 2011

Archivio 1164/2011

1164-Relazione tecnica indagini geofisiche.doc

Impresa esecutrice:



**PROGEO S.r.L.**

Via Taletè 10/8  
47100 Forlì  
tel. 0543 723580  
fax. 0543 721486

Email: mail.progeo@gmail.com



REG. N. 2619 - A  
UNI EN ISO 9001 - 2000

Il Direttore Tecnico per l'impresa:



Società certificata con sistema di Qualità UNI EN ISO 9001 - 2000 n° 2619-A

## INDICE

|           |                                                                            |           |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b> | <b>INDICAZIONI GENERALI.....</b>                                           | <b>3</b>  |
| <b>2.</b> | <b>NORMATIVA ANTISISMICA .....</b>                                         | <b>3</b>  |
| <b>3.</b> | <b>PROSPEZIONE SISMICA IN FORO CON TECNICA DOWN HOLE .....</b>             | <b>5</b>  |
| 3.1.      | <i>Modalità operative.....</i>                                             | 5         |
| 3.1.1.    | Sorgente di energia .....                                                  | 5         |
| 3.1.2.    | Apparato di ricezione.....                                                 | 5         |
| 3.1.3.    | Operazioni di campagna .....                                               | 6         |
| 3.1.4.    | Acquisizione dati .....                                                    | 6         |
| 3.2.      | <i>Elaborazione dati.....</i>                                              | 7         |
| 3.2.1.    | Down hole tomografico.....                                                 | 7         |
| 3.2.2.    | Down hole differenziale (cross correlazione) .....                         | 9         |
| 3.3.      | <i>Elaborazione dei log di Vs, Vp e dei Moduli Elastici Dinamici .....</i> | 12        |
| 3.4.      | <i>Elaborati prove down hole .....</i>                                     | 15        |
| <b>4.</b> | <b>CONCLUSIONI .....</b>                                                   | <b>16</b> |

# **IKEA**

## **PISA - NAVICELLI**

### **NUOVO IKEA STORE NEL COMUNE DI NAVICELLI (PI)**

### **INDAGINE GEOFISICA IN FORO CON TECNICA DOWN HOLE SONDAGGIO SDH 9**

#### **1. INDICAZIONI GENERALI**

Allo scopo di caratterizzare dal punto di vista elastico i materiali sedimentari su cui si dovranno erigere le nuove strutture per il nuovo store nel Comune di Navicelli Pisa- è stata realizzata a scopo integrativo una indagine geofisica in foro con tecnica down hole.

L' indagine down hole è stata effettuata, fino alla profondità accessibile alla strumentazione (36 m), nel foro di sondaggio denominato SDH 9.

Per la prova in foro con tecnica down hole è stata utilizzata una sonda Progeo realizzata in materiale plastico nella quale sono inseriti, ed opportunamente isolati dal corpo della sonda stessa, due triplette di ricevitori (uno verticale e due orizzontali ortogonali fra loro) interspaziate di 1 metro l'una dall'altra (totale 6 ricevitori) determinando così ad ogni step di misura e tipologia di energizzazione, per differenza tra i tempi sismici di propagazione fra i due ricevitori posti alle estremità opposte della sonda, i singoli valori di velocità sia dell'onda di compressione (per i ricevitori verticali) sia dell'onda di taglio (per i ricevitori orizzontali).

Le indagini geofisiche sono state finalizzate quindi, in funzione della classificazione del suolo di fondazione della struttura, alla determinazione in dettaglio delle variazioni verticali di velocità sismica delle onde di compressione ( $V_p$ ) e delle onde di taglio ( $V_{sh}$ ) per ricavare moduli e parametri elastici dinamici (Elasticità  $E_{din}$ , Taglio  $G_{din}$ , Compressibilità  $K_{din}$ , Coefficiente di Poisson  $\nu$ ).

#### **2. NORMATIVA ANTISISMICA**

La caratterizzazione dei materiali in oggetto, vista l'elaborazione su tutta la profondità delle onde di taglio S, può quindi soddisfare anche i requisiti relativi all'entrata in vigore della nuova normativa antisismica (P.C.M. – Ordinanza n° 3341 del 14 settembre 2005 e successive modifiche fino al recente D.M. 14 gennaio 2008)) come classificazione dei terreni locali.

Nel particolare, l'oggetto della norma qui di seguito riportata, disciplina la progettazione e la costruzione di opere d'arte soggette ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su opere esistenti soggette al medesimo tipo di azioni sismiche.

Al § "Categorie di suolo di fondazione" si fa espresso riferimento ad indagini sismiche allo scopo di classificare il suolo di fondazione sulla base del valore di  $V_{s30}$  cioè del valore medio della velocità delle onde di taglio fino a 30 metri di profondità e comunque fino alla profondità significativa.

Riportiamo di seguito il paragrafo 5 d'interesse dell'ordinanza suindicata riferito ai ponti (analogo paragrafo è quello al cap. 3 riferito agli edifici).



## 2.1 Categorie di suolo di fondazione

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto si definiscono le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

*A - Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.*

*B - Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica  $N_{SPT} > 50$ , o coesione non drenata  $c_u > 250$  kPa).*

*C - Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 e 360 m/s ( $15 < N_{SPT} < 50$ ,  $70 < c_u < 250$  kPa).*

*D - Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di  $V_{s30} < 180$  m/s ( $N_{SPT} < 15$ ,  $c_u < 70$  kPa).*

*E - Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di  $V_{s30}$  simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con  $V_{s30} > 800$  m/s.*

*S1 - Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ( $PI > 40$ ) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di  $V_{s30} < 100$  m/s ( $10 < c_u < 20$  kPa)*

*S2 - Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti*

Nelle definizioni precedenti  $V_{s30}$  è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

Il sito verrà classificato sulla base del valore di  $V_{s30}$ , se disponibile, altrimenti sulla base del valore di  $N_{SPT}$ .

### 3. PROSPEZIONE SISMICA IN FORO CON TECNICA DOWN HOLE

#### 3.1. Modalità operative

La tecnica down-hole prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione (P) e di taglio (S) tra il punto di energizzazione in superficie (shot) ed il punto di ricezione mobile in profondità entro il foro di sondaggio.

##### 3.1.1. Sorgente di energia

Per effettuare tali operazioni è necessario utilizzare una sorgente di energia a polarizzazione verticale ed orizzontale: con la prima si generano onde di compressione P mentre con la seconda onde di taglio Sh.

Nel caso in esame si è scelta una sorgente di energia che potesse garantire una buona risposta sismica in alta frequenza oltre a caratteristiche dinamiche ripetitive simili; il generatore usato e denominato "Hammer Blow" è rappresentato da un maglio di 8 Kg usato da un operatore lasciato cadere con forza da circa 2 m su una piastra di acciaio per la generazione delle onde di compressione ed orizzontalmente, colpendo un supporto solidale per attrito radente al terreno, (trave in legno con sopra un autocarro) per quelle di taglio.

##### 3.1.2. Apparato di ricezione



L'apparato di ricezione è provvisto di un apposito meccanismo di ancoraggio alle pareti del foro durante la registrazione dell'impulso e di disancoraggio per essere mobilizzato lungo la verticale del sondaggio stesso; tale apparato ha la possibilità di essere orientato sul piano orizzontale mediante l'utilizzo di "aste in alluminio" (vedasi foto allegata a fianco).

Tale apparato (sonda 3D) è formato da due gruppi di sensori composti ciascuno da tre geofoni da 14 Hz smorzati del 70%, dei quali uno con l'asse funzionale verticale (V) e due orizzontali (H1 e H2) fra loro ortogonali; l'interdistanza fra i due gruppi è di 1 m. (vedasi foto a lato).

Oltre alla sonda calettata entro il foro si utilizza in superficie un interruttore piezoelettrico applicato all'apparato energizzatore, il quale costituisce il dispositivo di trigger per l'inizio della registrazione ed alcuni geofoni di riferimento posizionati nelle vicinanze della bocca del foro che rimangono fissi per tutte le misure effettuate nel sondaggio e che costituiscono il dispositivo di controllo affinché tutti gli impulsi sismici siano in fase ed utilizzabili per le correzioni nella fase di preprocessing nel caso in cui si opti per una elaborazione di tipo tomografico.

Tali geofoni risultano superflui nel caso in cui si intraprenda l'iter elaborativo di tipo differenziale, cioè per ogni ordinata o step di misura, in quanto è sufficiente determinare, per differenza tra i tempi sismici di propagazione ( $\Delta t$ ) fra i due ricevitori posti alle estremità opposte della sonda, i singoli valori di velocità sia dell'onda di compressione (per i ricevitori verticali) sia dell'onda di taglio (per i ricevitori orizzontali).



### 3.1.3. Operazioni di campagna

Dopo aver eseguito il collegamento al sismografo del cavo elettrico per i 6 canali della sonda 3D, dell'interruttore piezoelettrico solidale all'apparato di energizzazione e dei geofoni di riferimento si è effettuato il posizionamento della sonda 3D a fondo foro e si sono realizzati alcuni shot di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione dello strumento di registrazione dati.

Effettuata la taratura della strumentazione si è proceduto alla prospezione down-hole a partire da fondo foro.

### 3.1.4. Acquisizione dati

Gli impulsi sismici ricevuti dalla sonda in foro sono stati acquisiti utilizzando l'apparecchiatura EG&G Geometrics Geode dotata di estremo dettaglio di campionatura (0.02 millisec) tramite la quale, dopo amplificazione, conversione analogico/digitale e filtraggio, sono trasferiti e registrati su P.C.

I files dei dati sono così realizzati:

|          |   |                                                                |      |
|----------|---|----------------------------------------------------------------|------|
| canale 1 | - | segnale del geofono orizzontale superiore direzione ortogonale | (H2) |
| canale 2 | - | segnale del geofono orizzontale inferiore direzione ortogonale | (H2) |
| canale 3 | - | segnale del geofono orizzontale superiore direzione parallela  | (H1) |
| canale 4 | - | segnale del geofono orizzontale inferiore direzione parallela  | (H1) |
| canale 5 | - | segnale del geofono verticale superiore                        | (V)  |
| canale 6 | - | segnale del geofono verticale inferiore                        | (V)  |

In tal modo, per ogni step di misura di un metro in profondità, si possono analizzare i first break imputabili all'arrivo dell'onda di compressione (P) sia sul geofono del canale 5 sia sul geofono del canale 6 e per differenza si ottiene il valore della differenza di tempo di percorrenza relativa all'intervallo in oggetto.

Analogamente per ogni step di misura di un metro di profondità, si possono analizzare i first break imputabili all'arrivo dell'onda di taglio (S) sia sul geofono del canale 3 sia sul geofono del canale 4 e per differenza si ottiene il valore della differenza di tempo di percorrenza relativa all'intervallo in oggetto.

### 3.2. Elaborazione dati

Il procedimento elaborativo dei dati down hole può essere sviluppato secondo due differenti modalità:

- down hole tomografico,
- down hole differenziale.

#### 3.2.1. Down hole tomografico

Si sviluppa fondamentalmente in due fasi.

1) Elaborazione sismogrammi:

- display sismogrammi,
- convoluzione,
- lettura first break (realizzazione dromocrone per analisi down hole).

2) Elaborazione delle sezioni down-hole:

- analisi delle velocità – generalizzazione tempo-profondità,
- routine di ottimizzazione,
- routine per trasferimento dati in un sistema C.A.D.

Esprimendo in parole i punti sopraindicati si può affermare che una volta ottenute le velocità delle onde di compressione ( $V_p$ ) e di taglio ( $V_s$ ) entro i fori vengono calcolate tramite programmi all'elaboratore le distribuzioni areali di  $V_p$  e  $V_s$  ottimizzando l'elaborazione mediante assemblaggio delle risultanze di una molteplicità di registrazioni sismiche e tramite trasformazioni dei dati da valori numerici ad informazioni grafiche per plot delle risultanze.

Come si è visto il procedimento elaborativo si sviluppa fondamentalmente in due fasi: la prima è relativa allo studio delle tracce sismiche, la seconda riguarda lo studio delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  lungo la verticale del foro.

Vengono riportati qui di seguito i principali step dell'elaborazione dove viene fatta una differenziazione del materiale in celle unitarie (una cella per ogni sensore).

### Preprocessing

In questa fase si utilizzano sia programmi originali all'elaboratore sia routine sviluppate dalla I.C.I. (Interactive Concepts Incorporated) distribuite dal Kansas Geological Survey.

#### a) Traduzione tracce sismiche

Questa fase di preprocessing permette di convertire il formato con cui i dati sismici sono registrati dal sismografo EG&G GEOMETRICS GEODE in quello dei programmi elaborativi.

#### b) Gathering dei canali 1, 2, 3 e 4

Fase di preprocessing nella quale vengono riunite le tracce omologhe dei sismogrammi acquisiti in un unico file di dati: si realizzano pertanto n° 4 file, ognuno dei quali rappresenta la raccolta di tutte le tracce corrispondenti.

- |          |                                                                                                                                 |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gather 1 | traccia 1 (onda di compressione P ricevuta dal geofono verticale in superficie=riferimento " $T_0$ " per correzioni time break) |
| Gather 2 | traccia 2 (onda di compressione P ricevuta dal geofono verticale V nella sonda 3D alle varie profondità nel foro)               |
| Gather 3 | traccia 3 (onda di taglio S ricevuta dal geofono orizzontale H1 nella sonda 3D alle varie profondità nel foro)                  |



Gather 4      traccia 4 (onda di taglio S ricevuta dal geofono orizzontale H2, ortogonale all'H1 nella sonda 3D, alle varie profondità nel foro)

**c) Analisi dei singoli gather**

Viene effettuata l'analisi del gather 1 onde ricavare, traccia per traccia, la correzione da apportare, in millisecondi alle corrispondenti tracce 2, 3 e 4 (della stessa profondità) relative ai diversi shot effettuati in ciascun foro per investigare l'intera profondità.

L'analisi, che si sviluppa con criteri statistici, definisce un termine di riferimento 0 e gli spostamenti positivi o negativi di ciascuna traccia.

**d) Analisi spettrale (F.F.T.)**

Vengono realizzate le analisi spettrali in frequenza (Fast Fourier Transform) di alcune tracce campione relative ai gather 2, 3 e 4 a finestre sia nei settori con rumore di fondo sia in quelli con segnale utile (onda P e onda S).

Note queste frequenze fondamentali si procede alla costruzione di appositi filtri digitali per ridurre il rumore di fondo ed esaltare i segnali utili.

**e) Stacking canali 3 e 4**

Somma dei canali 3 e 4 (orizzontali) con rotazione dell'asse di vibrazione lungo la direzione della massima fase coerente.

Il procedimento viene realizzato mediante elaborazioni statistiche con ricerca automatica delle massime fasi coerenti delle onde di taglio (S).

Si ottiene pertanto un nuovo file di dati (canale 5) delle onde di taglio.

**f) First break peak canali 2 e 5**

Lettura dei primi arrivi dell'onda di compressione P e di taglio S. Nei nuovi files di dati creati al punto b) e al punto e) dall'assemblaggio delle varie tracce sismiche vengono considerati i files dei canali 2 (assemblaggio onde P) e dei canali 5 (assemblaggio onde S).

**g) Muting**

Operazione che riduce il segnale sismico dal tempo 0 al time break letto sulle singole tracce al passo (f) e che accentua visivamente i primi arrivi. Viene così ridotto il disturbo aleatorio costituito da rumore di fondo non eliminabile dall'operatore in fase di filtraggio (punto c) in quanto caratterizzato dalle stesse frequenze del segnale utile.

**h) Plot**

Stampa finale delle tracce sismiche relative alle onde di compressione e di taglio.

## Processing tomografico

Questo consiste nell'interpretazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione P e di taglio S. Per l'analisi di questi dati vengono utilizzati programmi al calcolatore di utilità, originali della Progeo.

Il procedimento di calcolo si sviluppa secondo i seguenti ulteriori step.

**i) Definizione della geometria della ricerca**

- coordinate del sensore in pozzo (3D),
- posizionamento punto di shot.

**l) Input tempi di arrivo onde P e onde S**

Realizzazione dei file dei dati relativi ai tempi di arrivo delle onde P ed S associate alle coordinate spaziali delle stazioni di misura.

### **m) Input modello di velocità**

In base alle conoscenze stratigrafiche e sismiche vengono definiti degli intervalli a velocità costante lungo l'asse del foro in funzione dei quali viene realizzato il ray tracing (step n).

### **n) Ray tracing**

Vengono create le traiettorie dei raggi sismici in base ai modelli di velocità definiti allo step m).

Per il calcolo si sono utilizzati i seguenti parametri:

- anisotropia ellittica (massima velocità in senso verticale)
- tolleranza lineare (.05%)
- tolleranza angolare (1")
- numero di iterazioni (500)
- multi pathing (on)
- plane layer (on)

### **o) Definizione dei parametri di calcolo**

Il programma utilizzato necessita, per il calcolo della sezione in profondità lungo la verticale del foro e in funzione dei valori di velocità, dei seguenti parametri di calcolo:

- definizione tipo di griglia (1 cella ogni m)
- tipo di anisotropia del mezzo investigato (verticale)
- numero di iterazioni (500)
- algoritmo di calcolo (S.I.R.T.)

L'algoritmo S.I.R.T. (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique) crea un'immagine di velocità apprezzabile, sufficientemente stabile e che converge velocemente verso i valori sperimentali.

### **p) Analisi delle risultanze**

Queste vengono inizialmente valutate dal punto di vista statistico attraverso gli scarti quadratici e le varianze dei tempi calcolati rispetto a quelli definiti in input. In base a tali valori possono essere modificati i parametri di calcolo per una migliore ottimizzazione. Si passa in seguito all'analisi delle velocità intergeofoniche relative alle onde P ed S dalla quale si ricava un modello di velocità più adeguato (a tale modello si farà riferimento in seguito come velocità intervallari). Il calcolo riprende perciò dallo step m) con l'input del nuovo modello di velocità e si procede fino a quando gli scarti e le varianze divengono minimi.

### **q) Predisposizione tabelle e grafici dei dati**

I dati calcolati al punto p) vengono riportati in un foglio elettronico appositamente predisposto allo scopo di calcolare i moduli elastici relativi e graficizzare le risultanze.

### **r) Conversione in immagini computerizzate**

La prospezione down hole con elaborazione tomografica si concretizza nella definizione di celle analitiche elementari; per ogni cella il valore della velocità tomografica rappresenta il valore medio risultante dei valori differenziali relativi a tutti i tragitti elementari dei raggi di investigazione che attraversano la cella considerata. La determinazione delle celle elementari che definiscono la rappresentazione tomografica deriva dalle variazioni dei parametri cinematici  $V_p$  e  $V_s$  in funzione del grado di consistenza differenziata del materiale.

## **3.2.2. Down hole differenziale (cross correlazione)**

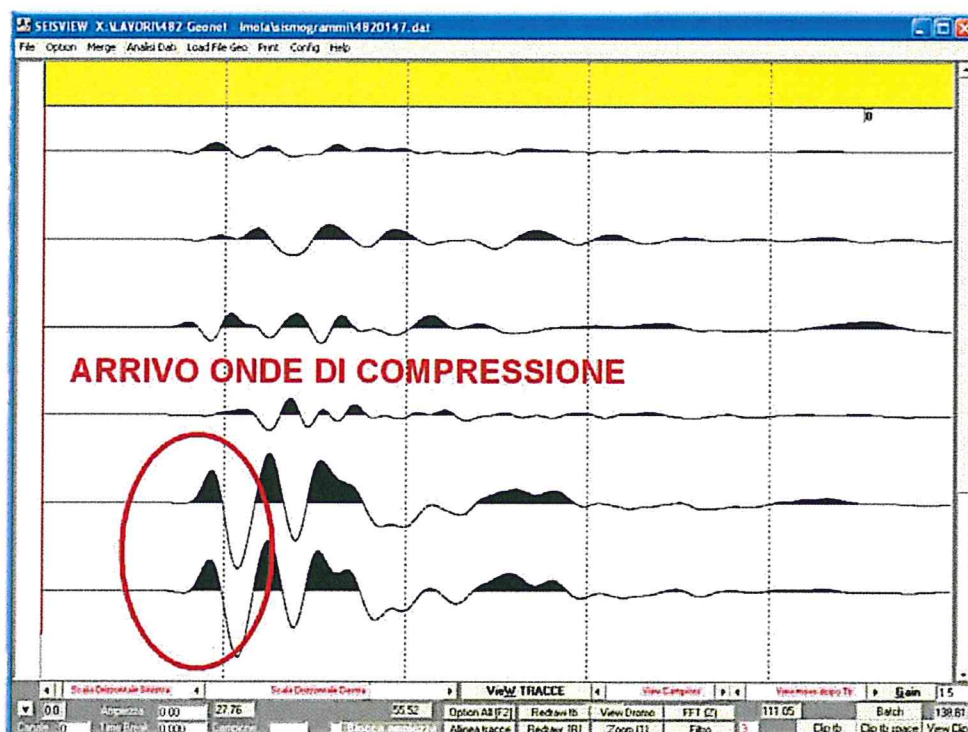
In questo caso specifico si è utilizzata questa tecnica elaborativa perché è stato possibile utilizzare in foro una sonda ricevente con spaziatura intergeofonica di 1 metro la quale, grazie anche al ridotto intervallo di campionamento (0.020 millisecondi) consentito dal sismografo EG&G GEOMETRICS GEODE consente di determinare per partizioni discrete direttamente nel tratto interessato i valori cinematici differenziali.



La valutazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio è stata effettuata mediante Cross Correlazione di cui si riporta un esempio alla pagina successiva.

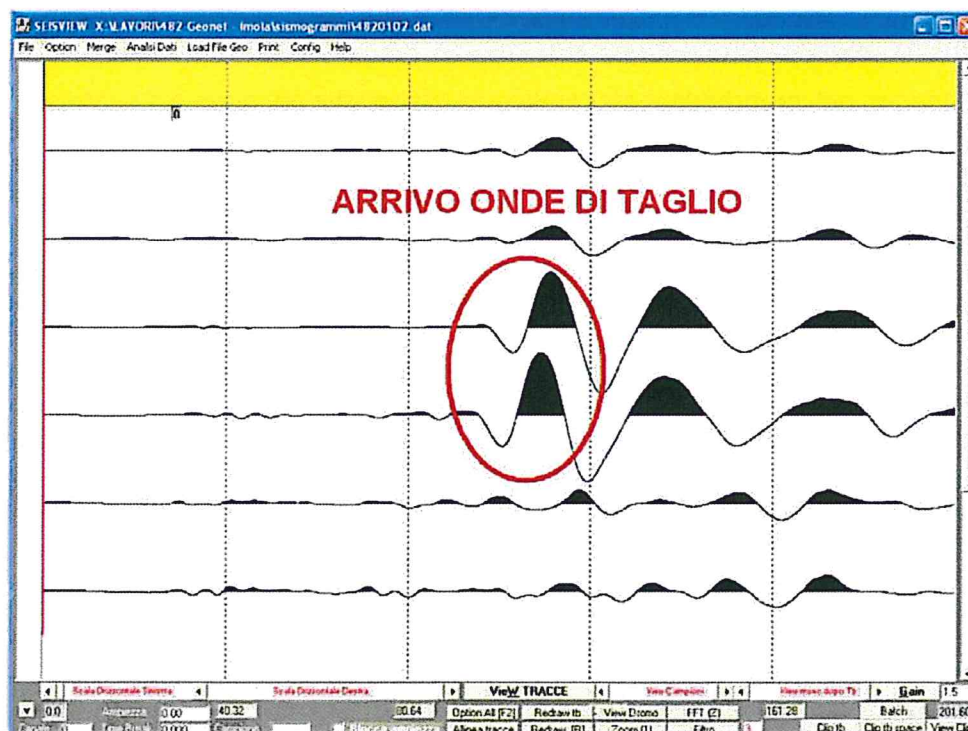
Tale tecnica viene normalmente impiegata allo scopo di aumentare il grado di affidabilità dei tempi.

Questa metodologia è indicata e sufficientemente precisa per la valutazione dei tempi di arrivo delle onde di compressione P; nell'immagine sottostante si ha un esempio di quanto indicato.

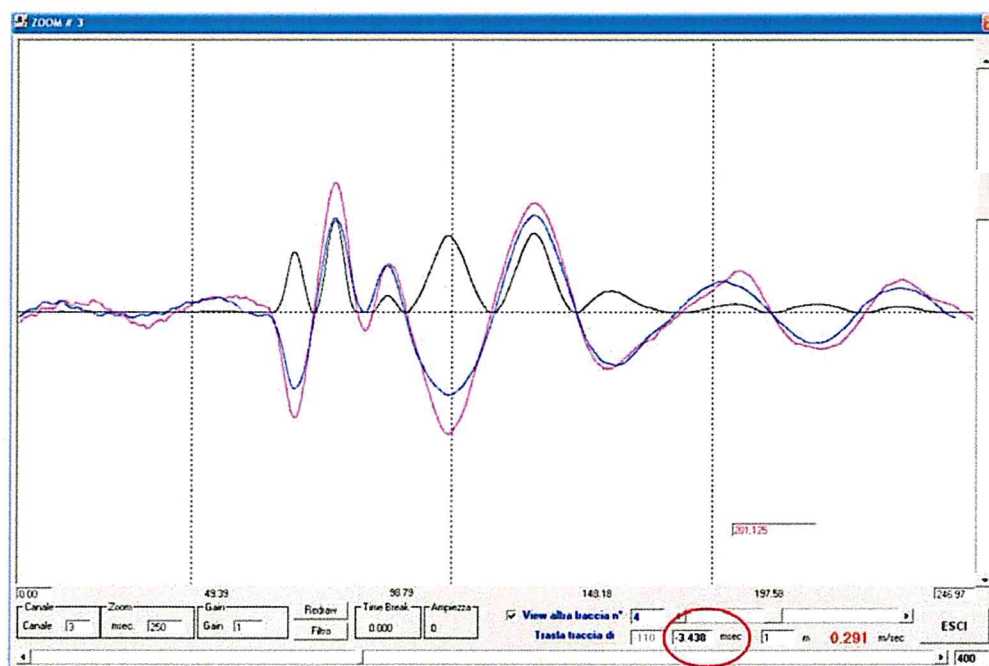


Per le onde di taglio S si procede all'analisi dell'inversione delle tracce sismografiche individuando quale sia il primo arrivo dell'onda di taglio (inversione di polarità), poi si affina la ricerca mediante Cross Correlazione (applicando la metodologia proposta da Willis e Toksoz - 1983-) e si determina così il valore del tempo differenziale fra le due tracce omologhe.

Nell'immagine sottostante si evidenzia il primo arrivo delle onde di taglio fra le tracce sismografiche relative ai geofoni dei canali 3 e 4.



Una volta individuato il primo arrivo dell'onda di taglio (con procedura analoga per le onde di compressione) si procede con una serie di passaggi di Cross Correlazione a finestre variabili tra le varie tracce allo scopo di individuare la massima rassomiglianza tra gli arrivi omologhi e determinare la massima verosimiglianza tra le tracce dei canali indicati nelle tabelle dei down hole riportate alle pagine precedenti. Tale tecnica in pratica consiste nel valutare il "ritardo" di arrivo dell'onda di compressione e/o di taglio fra il geofono inferiore e quello superiore valutando unicamente su base sismografica il valore di tempo che intercorre fra i due arrivi; qui di seguito è riportato un esempio di tale tecnica elaborativa.



**Differenziale tempi onde di taglio  
fra canale 3 e canale 4**



### 3.3. Elaborazione dei log di Vs, Vp e dei Moduli Elastici Dinamici

Dopo aver inserito nel programma elaborativo le geometrie di ricerca (distanza punto di energizzazione in superficie, coordinate della sonda in profondità) ed elaborato per ciascun canale di ricezione i tempi di arrivo dell'energia sismica prodotta dalla superficie topografica e registrata sulla verticale del punto di indagine secondo la tecnica down hole differenziale (cross correlazione), sono state realizzate tabelle e diagrafie (per step di misura di metro) relative ai parametri sismici cinematici Vp e Vs ed ai corrispondenti moduli elastici dinamici che si possono ottenere dalle interrelazioni che collegano le velocità delle onde di compressione e quelle di taglio.

Infatti, per la caratterizzazione del sito e del terreno in esame, specialmente in termini di deformabilità dei materiali in associazione ai dati geotecnici e/o di prove di laboratorio su campioni prelevati nei sondaggi geognostici, può essere opportuno fornire al Committente altri parametri (oltre ai singoli valori di velocità sismica) che la prova down hole è in grado di fornire contemporaneamente alla rilevazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche (Vp e Vs) nel sottosuolo.

Si tratta dei Moduli elastici dinamici del terreno i quali possono contribuire ad una migliore definizione dei carichi e delle spinte da parte del manufatto sul terreno di fondazione.

Attraverso la determinazione sia delle velocità delle onde di compressione sia delle velocità delle onde di taglio è possibile ricavare i seguenti parametri (per ulteriori dettagli si veda, tra i più recenti, "The rock physics handbook – tools for seismic analysis in porous media" di G. Mavko, T. Mukerji e J. Dvorkin, Cambridge University Press, UK, pp. 1-329, 1998):

|                                      |                    |                       |
|--------------------------------------|--------------------|-----------------------|
| - Coefficiente di Poisson            | ( $\nu$ )          |                       |
| - Peso di volume                     | ( $\gamma_{din}$ ) | in t/m <sup>3</sup>   |
| - Modulo di Elasticità dinamico      | ( $E_{din}$ )      | in Kg/cm <sup>2</sup> |
| - Modulo di Taglio dinamico          | ( $G_{din}$ )      | in Kgcm <sup>2</sup>  |
| - Modulo di Compressibilità dinamico | ( $K_{din}$ )      | in Kgcm <sup>2</sup>  |

Il *Coefficiente di Poisson* ( $\nu$ ), noto come la costante che lega le deformazioni in un corpo, può essere collegato, da un punto di vista bidimensionale, ad uno sforzo di trazione, che causa nel corpo stesso un allungamento in una direzione e un raccorciamento nell'altra, o ad uno sforzo di compressione che, analogamente, determina una contrazione in una direzione e una dilatazione nella direzione opposta.

Tale parametro può presentare un range di variazione compreso tra un massimo di 0.5 ed un minimo di 0; il valore di 0.5 è caratteristico di materiali che si deformano senza cambiamenti di volume (es. acqua), valori leggermente inferiori (0.47 - 0.49) sono tipici di argille o materiali molto saturi; valori inferiori sono indicativi di materiali da poco consolidati a sovraconsolidati.

Per le rocce si presentano range di variazioni molto ampi collegati in particolare sia al grado di fratturazione sia alla presenza di cavità, stratificazioni e litologie e comunque tra (0.46 e 0.20).

In funzione di Vp e di Vs il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$\text{Coefficiente di Poisson} \quad \nu = \frac{V_p^2 - 2 \cdot V_s^2}{2 \cdot (V_p^2 - V_s^2)}$$

Il *Peso di volume* ( $\gamma_{din}$ ) del terreno può essere indicativamente ricavato, in via empirica, anche dalla velocità delle onde di compressione sulla base della seguente relazione:

Peso di volume

$$\gamma_{din} = 0.51 \cdot V_p^{0.19}$$

( $\gamma_{din}$  in T/m<sup>3</sup>).

Da tale relazione si può ottenere anche la densità geofisica, intesa come:

Densità geofisica

$$\delta_{din} = \frac{\gamma}{g}$$

( $g = 9.8$  – accelerazione di gravità m/sec),

la quale viene utilizzata come parametro nelle formule per ricavare i moduli di elasticità e di taglio.

Il *Modulo di Young* o di *Elasticità normale*  $E_{din}$ , definisce la *deformazione longitudinale* di un corpo, intesa come il rapporto tra l'allungamento (o l'accorciamento) e la lunghezza originale del corpo stesso; in funzione dei valori della velocità delle onde di compressione  $V_p$ , della densità geofisica e del coefficiente di Poisson il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$\text{Modulo di Elasticità} \quad E_{din} = V_p^2 \cdot \delta_{din} \cdot \frac{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}{(1-\nu)} \quad (E_{din} \text{ in Kg/cm}^2).$$

Il *Modulo di Taglio* o di *Rigidità*  $G_{din}$  definisce invece la *deformazione tangenziale* di un corpo, intesa come l'angolo di cui ruota il corpo stesso in seguito ad uno sforzo di taglio; in funzione dei valori della velocità delle onde di taglio  $V_s$  e della densità geofisica il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$\text{Modulo di Taglio} \quad G_{din} = \delta_{din} \cdot V_s^2 \quad (G_{din} \text{ in Kg/cm}^2).$$

Infine, il *Modulo di Compressibilità* o *Modulo di Volume* è quel parametro ottenibile se lo sforzo viene applicato tridimensionalmente (lungo tutti i tre assi cartesiani) generando una pressione idrostatica uniforme con la quale si avranno componenti dello sforzo uguali e con deformazione rappresentata da una variazione di volume la quale può essere indicata numericamente dall'inverso del coefficiente di compressibilità; utilizzando i valori del modulo di elasticità e del coefficiente di Poisson il parametro è definito dalla seguente relazione:

$$\text{Modulo di Compressibilità} \quad K_{din} = \frac{E_{din}}{3 \cdot (1-2 \cdot \nu)} \quad (K_{din} \text{ in Kg/cm}^2).$$

I moduli dinamici così calcolati risultano comunque sempre più elevati di quelli statici forniti da prove di carico in situ in quanto gli impulsi sismici sono di breve durata e le sollecitazioni ad essi associate sono relativamente modeste e rientrano nel campo delle deformazioni istantanee.

Il modulo di taglio  $G_{din}$ , oltre ad essere utilizzato nel campo geotecnico per lo studio delle resistenze al taglio dei materiali detritici e lapidei, viene impiegato nello studio di microzonazioni sismiche in particolare nel calcolo delle seguenti relazioni relative alla valutazione dei parametri caratteristici sia di spessori (H) sia di interfacce stratigrafiche (nel qual caso vengono utilizzati i parametri elastici di  $G_{din}$  dei due strati):



Rigidità sismica

$$R = \delta_{din} \sqrt{\frac{G_{din}}{\delta_{din}}} \quad (R \text{ in } t/(m^2 \cdot sec))$$

Periodo proprio

$$T = \frac{4H}{\sqrt{\frac{G_{din}}{\delta_{din}}}} \quad (T \text{ in sec})$$

Rapporto di Impedenza

$$\lambda = \frac{\delta_{din1} \cdot G_{din1}}{\delta_{din2} \cdot G_{din2}} \quad (\lambda \text{ adimensionale})$$

Il modulo di compressibilità  $K_{din}$  o di deformabilità volumetrica è confrontabile con quello ottenuto da prove di compressione idrostatica realizzabili mediante prove triassiali non drenate nella fase iniziale del carico (fase elastica) e quindi è comparabile al modulo idrostatico di compressibilità geotecnico  $B$  o, inversamente, al coefficiente o indice di compressibilità  $C_c$ .

Tutti questi parametri elastici infine possono essere utilizzati per l'applicazione del metodo degli elementi finiti a problemi geotecnici.

Tali metodi offrono notevoli vantaggi rispetto ai metodi di calcolo tradizionali come ad esempio:

- \* l'opera geotecnica può avere una forma qualsiasi;
- \* nel calcolo si può tener conto del comportamento non lineare sia del terreno sia della struttura;
- \* è possibile effettuare simulazioni per ottimizzare la costruzione dell'opera d'arte anche in condizioni sismiche.

Mediante la prova down hole potrà altresì essere caratterizzato il sito d'indagine in corrispondenza del sondaggio meccanico secondo le classi di terreno previste dalla nuova normativa sismica (P.C.M. - Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 e successive modifiche, vedasi precedente paragrafo 2) fino alle profondità raggiunte dalla prova stessa ( $V_{s30}$  solo se la prova raggiungerà tale profondità).

### 3.4. Elaborati prove down hole

Nella documentazione down hole riportata al termine della presente relazione sono presentate in 2 tavole distinte le tabelle numeriche e i grafici (log) relativi ai parametri geosismici e moduli elastici dinamici analizzati. Nell'ordine e in dettaglio sono riportati in ciascuna delle 2 tavole:

#### Tabelle

Nella prima tavola è rappresentata la tabella numerica dei parametri geofisici intergeofonici rilevati ogni metro di profondità mediante tecnica down hole differenziale (cross correlazione).

Più in dettaglio, sono riportati in tabella numerica i seguenti dati distinti per colonna:

1. Profondità (m);
2.  $V_p$       velocità onde di compressione (m/sec);
3.  $V_s$       velocità onde di taglio (m/sec);
4.  $\mu$         coefficiente di Poisson;
5.  $\gamma$         peso di volume (t/m<sup>3</sup>);
6.  $E_{din}$      modulo di elasticità dinamico -Young- (kg/cm<sup>2</sup>);
7.  $G_{din}$      modulo di taglio dinamico (kg/cm<sup>2</sup>);
8.  $K_{din}$      modulo di compressibilità dinamico (kg/cm<sup>2</sup>)

A lato della tabella numerica sono riportati i log di velocità delle onde di taglio (in rosso) e delle onde di compressione (in verde); le scale delle diagrafie sono in m/sec.

#### Grafici

Nella seconda tavola sono rappresentati i grafici dei parametri elastici dinamici relativi ai valori di velocità delle onde di compressione (P) e di taglio (S) nonché ai valori dei moduli elastici dinamici (elasticità o di Young, taglio, compressibilità) e del coefficiente di Poisson; i log dei valori rilevati ogni metro di profondità lungo la verticale del foro sono riportati nel seguente ordine:

- velocità onde P e onde S;
- coefficiente di Poisson;
- modulo di elasticità  $E_{din}$ ;
- modulo di taglio  $G_{din}$ ;
- modulo di compressibilità  $K_{din}$ .



#### 4. CONCLUSIONI

Per il progetto del nuovo store di Pisa nel Comune di Navicelli, a seguito della entrata in vigore della nuova normativa antisismica (NTC 2008 – D.M. del 14 gennaio 2008 [http://www.ingegneriasoft.com/NTC2008\\_Norme\\_tecniche\\_per\\_le\\_costruzioni.htm](http://www.ingegneriasoft.com/NTC2008_Norme_tecniche_per_le_costruzioni.htm)) si sono eseguite indagini geofisiche per valutare le caratteristiche elastiche e di consistenza del sottosuolo in esame.

Le indagini geofisiche sono consistite nella realizzazione di una prova in foro eseguita con tecnica down hole e spinta fino alla profondità massima raggiungibile dalla strumentazione (36 m) nel sondaggio geognostico SDH 9 realizzato allo scopo. L'indagine in oggetto ha consentito di ottenere una distribuzione nel sottosuolo, con partizioni ogni metro, delle velocità delle onde di taglio S nei primi 36 metri di profondità dal piano campagna.

E' stato determinato il valore di  $V_{s30}$  a partire dal piano campagna fino a fondo foro (36 m) da cui si ricava:

|               |                               |                 |   |
|---------------|-------------------------------|-----------------|---|
| da pc a 30 m  | $V_{s30} = 143 \text{ m/sec}$ | Categoria suolo | D |
| da 1 m a 31 m | $V_{s30} = 152 \text{ m/sec}$ | Categoria suolo | D |
| da 2 m a 32 m | $V_{s30} = 156 \text{ m/sec}$ | Categoria suolo | D |
| da 3 m a 33 m | $V_{s30} = 162 \text{ m/sec}$ | Categoria suolo | D |
| da 4 m a 34 m | $V_{s30} = 168 \text{ m/sec}$ | Categoria suolo | D |
| da 5 m a 35 m | $V_{s30} = 175 \text{ m/sec}$ | Categoria suolo | D |
| da 6 m a 36 m | $V_{s30} = 186 \text{ m/sec}$ | Categoria suolo | C |

La caratterizzazione dei materiali in oggetto può quindi soddisfare i requisiti relativi alla entrata in vigore del nuovo decreto ministeriale.

**PROGEO**  
Dott. Gabriele Pulelli

