

STUDIO DI GEOLOGIA
Dott. Geol. Andrea Sodi

ALLEGATO 11

Comune di Pisa

CONSORZIO "CENTRO COMMERCIALE LA CELLA"

RELAZIONE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA

(LR 5/95, DCRT 94/85, DCRT 230/94)

*Piano Particolareggiato per Insediamento
Commerciale Artigianale di Iniziativa Privata in
località La Cella*

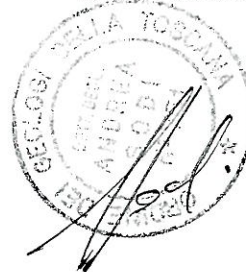
N. 11



07 NOV. 2001

**IL FUNZIONARIO
(TOMEI C. ALBERTO)**

Dott. Geol. Andrea SODI



Pisa, dicembre 1999

Indice

1 - Premessa

2 – Morfologia e descrizione dei luoghi

3 - Inquadramento geomorfologico

4 – Stratigrafia

5 - Considerazioni sul rischio idraulico

6 – Conclusioni e definizione della pericolosità e fattibilità

Allegati in appendice

N° 1 tavola fuori testo

N° 1 relazione idrologico idraulica fuori testo

1. PREMESSA

Per conto del CONSORZIO CENTRO COMMERCIALE LA CELLA è stata redatta la presente relazione di fattibilità geologica a supporto del progetto per un PIANO PARTICOLAREGGIATO DI INIZIATIVA PRIVATA PER INSEDIAMENTO COMMERCIALE ARTIGIANALE sito in loc. LA CELLA nel Comune di PISA, elaborato dagli architetti Dott. Scarpellini Alessandro e Dott. Suraci Demetrio.

Per la redazione della presente relazione si è fatto riferimento alla relazione generale allegata al PRG comunale e alla conoscenza dei luoghi da parte dello scrivente acquisita nel corso di precedenti lavori.

Il presente Studio di Fattibilità Geologica è stato redatto come prescritto dalla LR 21/84, dalle relative norme attuative riportate nel D.C.R.T. n°94/85 *Norme per la formazione e l'adeguamento degli S.U. ai fini della prevenzione del rischio sismico*; e dalla D.C.R.T. 230/94 *Provvedimenti sul rischio idraulico*, relativamente a quest'ultimo punto ci si è avvalsi della consulenza dell'Ing. Carlo Calastri che ha previsto alla redazione di una specifica relazione idrologico-idraulica al fine di valutare l'esposizione dell'area a rischio esondazione da parte dell'Arno .

2 - MORFOLOGIA E DESCRIZIONE DEI LUOGHI

L'area oggetto della presente relazione è ubicata ad Est della città di Pisa, in sinistra idrografica del Fiume Arno distante alcune decine di metri, nella immediata periferia tra il centro cittadino e la frazione di Putignano Pisano.

Si estende su una superficie di circa 13 ettari (128.320 mq) di forma trapezoidale, con asse orientato NW-SE, il confine meridionale è costituito dalla linea ferroviaria Pisa-Firenze, quella settentrionale dalla SS n°67, mentre ad est ed ad ovest è delimitata dalla viabilità locale.

La superficie si presenta pianeggiante con quota media di 4,5 m slm, differenze altimetriche locali, dell'ordine di 1-2 m, sono imputabili all'antropizzazione dell'area con accumulo di materiali ed a opere di urbanizzazione precedenti.

Si pone in posizione morfologicamente depressa rispetto all'ampia area golenale dell'Arno (6- \approx 7 m slm) e alla adiacente strada statale (\approx 6 m slm).

Attualmente la superficie è occupata da alcuni capannoni ad attività commerciale ed artigianale separati tra loro da ampie fasce di terreno abbandonato, dove sotto una folta vegetazione spontanea affiorano in vari luoghi materiali abbandonati essenzialmente scarti edili, in alcune aree recintate è presente un notevole degrado con materiali di varia natura abbandonati.

Ai margini settentrionali dell'area sono presenti un distributore di carburante (Agip), un deposito di oli combustibili.

3 - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area di studio si colloca nel contesto geomorfologico della Pianura Pisana ovvero quel territorio compreso tra il Monte Pisano, le Colline Pisane e Livornesi ed il mare.

L'evoluzione della Pianura Pisana è legata alla formazione del bacino neoautoctono del graben della Versilia, struttura di sprofondamento tettonico, che si sviluppa da sud a nord lungo il margine della catena montuosa Monte Pisano - Alpi Apuane ad est e a ovest dalla dorsale sommersa della Meloria-Maestra con la presenza di faglie dirette.

All'interno di tale struttura di sprofondamento si succedono tra il Pliocene e il Plesitocene Inferiore vari cicli di trasgressione e regressione marina con la deposizione di ampi spessori di sedimenti marini; nel Plesitocene Medio si instaurano condizioni deposizionali continentali con un forte abbassamento eustatico (episodio freddo regressivo del Würm II), testimoniate dai

Il sottoscritt. SODI ANDREA
 critt. o all'Ordine Professionale dei GEOLOGI
 della TOSCANA (oppure non iscritt. all'Ordine Professionale in quanto esercita la
 propria attività professionale alle dipendenze del Comune di.....
 avendo conseguito l'abilitazione professionale all'attività di.....), avente
 il proprio studio o ufficio in Via Piazza CARNELUTTI n. 5 del
 Comune di PISA Codice fiscale n. 02096550299702 in
 seguito a incarico ricevuto dal Comune di.....
 Ai sensi del comma 5 dell'art.32 della L.R. 16.1.95 n. 5 modificata con L.R. 3.11.95 n.96;

CERTIFICA

che le indagini geologico-tecniche previste all'art.1 della L.R. 17.4.84 n.21 e dalle direttive regionali
 approvate con D.C.R. n. 94 del 12.2.85, integrate dal comma sesto dell'art.7 della D.C.R. n. 230 del 21.1.94,
 relative all'atto di pianificazione urbanistica del Comune
 di PISA (provincia di PI) denominato.....

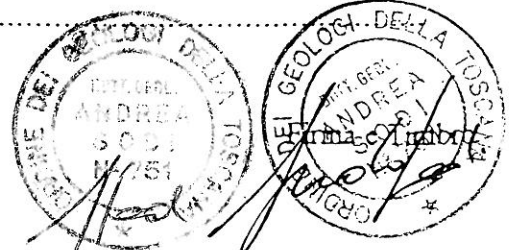
PIANO PARTICOLARE CCIAA DI INIZIATIVA PRIVATA PER INSEDIAMENTO
COMMERCIALE ARTIGIANALE IN LOC. LA CELLA

SONO ADEGUATE

alle disposizioni normative vigenti.

Tali indagini sono costituite dai seguenti elaborati:

- 1) RELAZIONE DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA (u 2 copie)
- 2) RELAZIONE IDROLOGICO - IDRAULICA (" " ")
- 3) STAVES FUORI TERRO (" " ")
- 4)
- 5)
- 6)
- 7)
- 8)
- 9)
- 10)
- 11)
- 12)



Il sottoscritto SODI ANDREA iscritto all'Ordine Professionale dei GEOLOGI della TOSCANA (oppure non iscritto all'Ordine Professionale in quanto esercita la propria attività professionale alle dipendenze del Comune di avendo conseguito l'abilitazione professionale all'attività di), avente il proprio studio o ufficio in Via/Piazza CARNELUTTI n. 5 del Comune di PISA Codice fiscale n. 504265009702 in seguito a incarico ricevuto dal Comune di
 Ai sensi del comma 5 dell'art.32 della L.R. 16.1.95 n. 5 modificata con L.R. 3.11.95 n.96;

CERTIFICA

che le indagini geologico-tecniche previste all'art.1 della L.R. 17.4.84 n.21 e dalle direttive regionali approvate con D.C.R. n. 94 del 12.2.85, integrate dal comma sesto dell'art.7 della D.C.R. n. 230 del 21.1.94, relative all'atto di pianificazione urbanistica del Comune di PISA (provincia di PI) denominato

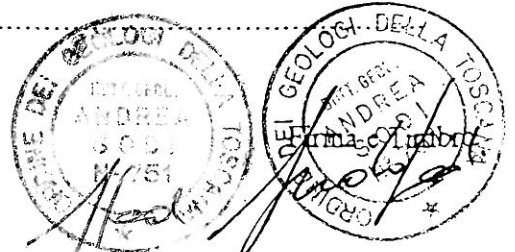
PIANO PARTICOLAREGGIATO DI INIZIATIVE PRIVATE PER INSEDIAMENTO COMMERCIALE ARTIGIANALE IN LOC. LA CELLA

SONO ADEGUATE

alle disposizioni normative vigenti.

Tali indagini sono costituite dai seguenti elaborati:

- 1) RELAZIONE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA (u 2 copie)
- 2) RELAZIONE IDROLOGICO - IDRAULICA (" ")
- 3) LAVORI FUORI TERRO (" ")
- 4)
- 5)
- 6)
- 7)
- 8)
- 9)
- 10)
- 11)
- 12)



Il sottoscritto SODI ANDREA
 iscritto all'Ordine Professionale dei GEOLOGI
 della TOSCANA (oppure non iscritto all'Ordine Professionale in quanto esercita la
 propria attività professionale alle dipendenze del Comune di.....
 avendo conseguito l'abilitazione professionale all'attività di.....), avente
 il proprio studio o ufficio in Via/Piazza CARNELUTTI n. 5 del
 Comune di PISA Codice fiscale n. 5009650290702 in
 seguito a incarico ricevuto dal Comune di.....
 Ai sensi del comma 5 dell'art.32 della L.R. 16.1.95 n. 5 modificata con L.R. 3.11.95 n.96;

CERTIFICA

che le indagini geologico-tecniche previste all'art.1 della L.R. 17.4.84 n.21 e dalle direttive regionali
 approvate con D.C.R. n. 94 del 12.2.85, integrate dal comma sesto dell'art.7 della D.C.R. n. 230 del 21.1.94,
 relative all'atto di pianificazione urbanistica del Comune
 di PISA (provincia di PI) denominato.....

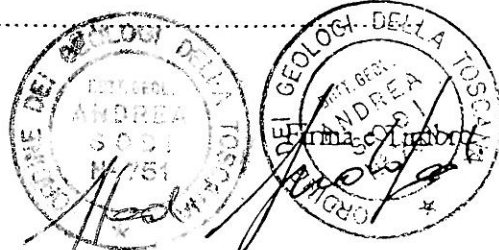
PIANO PARTICOLAREGGIATO DI INIZIATIVA PRIVATA PER INSEDIAMENTO
COMMERCIALE ARTIGIANALE IN LOC. LA BELLA

SONO ADEGUATE

alle disposizioni normative vigenti.

Tali indagini sono costituite dai seguenti elaborati:

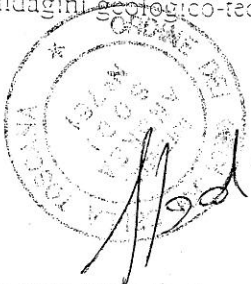
- 1) RELAZIONE DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA (107 copie)
- 2) RELAZIONE IDROLOGICO - IDRAULICA (" " ")
- 3) STAVIA FUORI TERRO (" " ")
- 4)
- 5)
- 6)
- 7)
- 8)
- 9)
- 10)
- 11)
- 12)



TIPOLOGIA DELLE INDAGINI RISPETTO AL CONTROLLO OBBLIGATORIO DEFINITO DALLE ISTRUZIONI TECNICHE REGIONALI

- Punto 1 - Le indagini che vengono depositate sono soggette al controllo obbligatorio dell'Ufficio del Genio Civile ai sensi del comma 6 dell'art. 32 della L.R. 5/95 modificata con L.R. 96/95 in quanto si riferiscono a uno o più dei seguenti tipi di atti di pianificazione che il Comune intende adottare:
- A: nuovi Piani Regolatori Generali comunali, definiti ai sensi dell'art. 23 della L.R. 5/95; Piani Strutturali, Regolamenti Urbanistici, nonché varianti generali agli strumenti urbanistici generali vigenti da adottarsi con la procedura definita dai commi 9 e 10 dell'art. 40 della L.R. 5/95
 - B: altre varianti agli strumenti urbanistici generali comunali, comprese quelle dell'art. 40 commi 2 e 8 della L.R. 5/95, che prevedano ampliamenti o nuove individuazioni di zone omogenee definite dal D.M. 2.4.1968 n. 1444 come B, C, D, F, esclusi i parchi, o ad esse assimilabili, nonché previsioni relative a nuova viabilità, nel caso che tali zone o previsioni ricadano in aree classificate in "pericolosità 4", in attuazione della normativa vigente sulle indagini geologico-tecniche, dallo studio allegato o dalle indagini già elaborate per la redazione del Piano Urbanistico Generale vigente.
 - C: Programmi Integrati di Intervento e Piani Urbanistici attuativi o loro varianti che riguardino interventi classificati di "fattibilità 4" dalle indagini geologico-tecniche allegate allo Strumento Urbanistico generale vigente o alla eventuale variante ad esso da adottarsi contestualmente o comunque effettuate in adeguamento alle disposizioni di cui alla sezione 4.2 della D.C.R. 12.2.85, n. 94.
 - D: ulteriori atti di pianificazione urbanistica assoggettati al controllo obbligatorio dal Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale approvato e pubblicato sul Bollettino Ufficiale Regionale del n. _____
- Punto 2 - Le indagini che vengono depositate non sono soggette al controllo obbligatorio in quanto non rientrano in alcuno dei tipi di atti di pianificazione elencati al precedente punto 1.

Finna del Tecnico incaricato
per le indagini geologico-tecniche



Finna del Rappresentante Comunale
incaricato del deposito

IL FUNZIONARIO
(TOMEI C. ALBERTO)

N.B. - la presente scheda potrà, nel caso il Comune lo ritenga opportuno, essere compilata in duplice copia in tal caso una copia sarà consegnata, timbrata, in segno di ricevuta, da parte dell'Ufficio del Genio Civile.

SCHEDA PER DEPOSITO PRESSO L'UFFICIO DEL GENIO CIVILE COMPETENTE DELLE INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE AI SENSI DELLA L.R. 17.4.84 N. 21, D.C.R. 12.2.85 N. 94 INTEGRATA DAL COMMA 6 DELL'ART. 7 DELLA D.C.R. 21.6.94 N. 230

SPAZIO RISERVATO
ALL'UFFICIO DEL
GENIO CIVILE
PER DATA E NUMERO DI DEPOSITO

COMUNE DI PISA

PROVINCIA DI PISA

Tipo di atto di pianificazione urbanistica che il Comune intende adottare, a cui si riferiscono le indagini che vengono depositate: PIANO PARTICOLAREGGIATO - L.R. n°5/95 art. 40 lettera d)
Consorzio Centro Commerciale La Cella , adozione della nuova
soluzione progettuale con contestuale variante al Regolamento Urbanistico .-

- Piano Strutturale comunale ai sensi dell'art. 24 della L.R. 5/95
- Regolamento Urbanistico comunale ai sensi dell'art. 28 della L.R. 5/95
- Variante al Piano Regolatore Generale o al Programma di Fabbricazione, da adottarsi ai sensi dei commi 2 o 8 dell'art. 40 della L.R. 5/95
- Variante al Piano Regolatore Generale o al Programma di Fabbricazione, ai sensi del comma 1 dell'art. 40 della L.R. 5/95
- Variante al Piano Strutturale
- Variante al Regolamento Urbanistico
- Programma Integrato di Intervento ai sensi dell'art. 29 della L.R. 5/95
- Variante al Programma Integrato di Intervento
- Piano Urbanistico Attuativo
- Variante al Piano Urbanistico attuativo

ELENCO DEGLI ELABORATI CHE VENGONO DEPOSITATI

- 1) Certificazione di adeguatezza delle indagini geologico-tecniche
- 2) Tutti gli elaborati elencati nella certificazione di cui al precedente punto n. 1
- 3) n. 11 elaborati dell'atto di pianificazione urbanistica da adottarsi, comprese le norme tecniche di attuazione, a cui si riferiscono le indagini, con evidenziati gli ambiti interessati dall'atto stesso, firmati dal progettista incaricato
- 4) n. 1 elaborati consistenti copia di indagini precedentemente depositate che sono da considerarsi ancora valida ai fini della individuazione delle classi di pericolosità o che individuano classi di pericolosità o di fattibilità dello Strumento Urbanistico Generale vigente che costituiscono il presupposto per il controllo obbligatorio
- 5) n. 1 ulteriori elaborati ritenuti utili dal tecnico incaricato o dal Comune

1- Vedere riferimenti a tali indagini contenuti nelle definizioni dei gruppi B e C del punto 3 delle istruzioni tecniche

**CERTIFICAZIONE DI CUI AL COMMA 22 DELL'ARTICOLO 40 E
ALLA DELIBERAZIONE DI G.R. N. 304 DELL' 11 MARZO 1996**


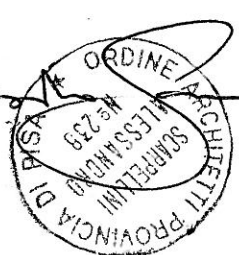
Oggetto: L.R. n. 5195 - adozione di piano particolareggiato dell'area destinata ad esposizioni spedizionieri grossisti concessionari in località La Cella con contestuale variante al PRG. art. 40.2 lettera d).

Preso visione delle indagini geologico-tecniche e la relativa relazione redatte dal Dott. Geologo Andrea Sodi circa l'area di cui all'oggetto,

si attesta

che il piano particolareggiato e la variante di cui trattasi sono conformi agli esiti delle indagini depositate.

Pisa 05/10/01

I Progettisti

Arch. Demetrio Suraci

Arch. Alessandro Scarpellini





ciottoli fluviali del Conglomerato del Serchio e dell'Arno presenti come orizzonte guida in tutta la pianura; successivi cicli di trasgressione e regressione hanno avuto minor importanza per gli spessori depositi ma sono significativi da un punto di vista morfogenetico; l'ultimo episodio è la così detta trasgressione versiliana con culmine circa 5.000 anni fa (Olocene). Testimonianza di tale evento sono i depositi sabbiosi di cordone litorali affioranti ai margini occidentali della pianura a cui si alternano zone depresse su cui si instaurano condizioni di ristagno ed impaludamento.

I terreni affioranti sono di origine esclusivamente alluvionale di età olocenica-quadernaria, depositati quasi esclusivamente dall'azione del Fiume Arno, di cui restano visibili ad un'analisi aereofotogrammetrica numerose testimonianze dei suoi antichi percorsi (paleoalvei); litologicamente sono costituiti da sabbie, sabbie limose e limi argillosi con la prevalenza dei primi in corrispondenza degli alvei e delle zone prossime ai corsi d'acqua e prevalenza dei secondi nelle aree più distanti o depresse.

4 - STRATIGRAFIA

Il sottosuolo dell'area di progetto non è stato attualmente indagato con prove dirette a causa sia per motivi logistici dovuti alla scarsa accessibilità dei luoghi d'indagine, alla presenza di sottoservizi e di materiale di riporto con notevole spessore e consistenza che hanno impedito l'esecuzione di prove penetrometriche, sia dei tempi ristretti imposti dalla committenza in relazione alle modalità autorizzative che non hanno permesso di reperire in tempi utili un ditta disponibile alla esecuzione di sondaggi geognostici.

Pertanto, per la caratterizzazione del sottosuolo, si fa riferimento alle conoscenze acquisite dallo scrivente nel corso di precedenti indagini eseguite nei pressi di Pisa a sud dell'Arno nonché a quanto disponibile nella relazione allegata al PRG comunale.

Dalla relazione di PRG si evince come i terreni presenti, indicati sulla carta litotecnica con la sigla Li, siano di natura prevalentemente limosa con intercalazioni argillose talvolta sabbiose con parametri geotecnici variabili con R_p delle prove CPT variabile tra 10 e 20 Kq/cm², da cui coesione di 0,4-0,8 Kg/cm², coeff. di comp. Volum. M_v di 12-25 t/cm².

Dalla carta della profondità dello strato delle "argille compressibili" si evince una profondità dal piano di campagna variabile tra 6/8 m.

Per i dati in possesso dello scrivente, si ritiene che tali terreni con valori di R_p generalmente variabili tra 10 e 15 Kg/cm² siano attesi fino a circa 4-5 m di profondità, a cui possono essere intercalati livelli a maggiore resistenza concentrati appunto nei primi metri e oltre i 15/20 m di profondità e rappresentano sedimenti recenti di piana alluvionale prossimale.

I termini compresi indicativamente tra 4/5 m e 15/20 m sono identificabili come terreni limosi o misti compressibili con valore di R_p di circa 5 Kg/cm² e rappresentano zone di sedimentazione recente di pianura marginale.

Nella figura allegata si riportano alcuni profili tipici della zona ad Est di Pisa e a Sud dell'Arno, si ritiene probabile un terreno con le caratteristiche dei profili 1 e 2.

Questa prima caratterizzazione è sufficiente ad una prima caratterizzazione dell'area non approfondita per i problemi di cui sopra, nell'evoluzione del progetto si ritiene indispensabile eseguire un numero opportuno di indagini sull'intera superficie e specifiche per i singoli lotti.

5 - CONSIDERAZIONI SUL RISCHIO IDRAULICO

L'area si trova esternamente agli ambiti definiti dalla DCR 230/94 con corsi d'acqua classificati. Secondo la cartografia di PTC l'area è stata inserita in classe 3a di pericolosità (medio bassa) definita come: *aree per le quali non si ha disponibilità di precise testimonianze storiche di episodi sondativi o di sommersione comunque limitrofe ad aree in passato conosciute come alluvionate o sommerse ; si individuano su base geomorfologica storica o con riferimento a modelli geologico-idraulici verificando in caso di ricorrenza statistica di possibile esondazione o sommersione comunque superiore ai 200 anni;*

Secondo la cartografia di PRG l'area è inserita in classe di pericolosità 3a e non si rilevano problemi di natura esondativa o di ristagno.

L'allegata relazione idrologico idraulica redatta dall'Ing. C.Calastri ha evidenziato l'assenza di fenomeni esondativi per eventi con tempo di ritorno centennale.

Sulla base dei dati raccolti l'area di progetto si può ragionevolmente considerare a basso rischio idraulico.

Relativamente al rischio di ristagno, attualmente non sono evidenziate situazioni di crisi, tuttavia la morfologia dell'area compresa tra due "alti" quali la ferrovia e la SS 67 possono far prevedere la possibilità del verificarsi tale fenomeno, oggi non evidente a causa della

posizione rilevata delle aree urbanizzate e della presenza di un'area centrale abbandonata e coperta di vegetazione.

L'analisi dei luoghi non ha evidenziato una rete idrografica locale né la presenza di fossi in uscita dall'area.

A tale proposito, definite le piogge massime possibili su tale superficie, vedi relazione idrologico-idraulica, si rimanda al progettista il dimensionamento di una opportuna rete fognaria o di scolo per la raccolta delle acque meteoriche e la redistribuzione dei volumi dei terreni di copertura in modo da non eliminare le aree depresse.

6 - CONCLUSIONI E DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E FATTIBILITÀ

Nel PRG comunale l'area è stata inserita in classe 3 di pericolosità (medio bassa) sottoclasse 3a ovvero quelle aree *in cui sono assenti fenomeni attivi; sono protette da opere idrauliche ed esistono notizie storiche di esondazioni dell'Arno e sono poste a quote inferiori a 2 m misurate dal piede esterno del suo argine (DCRT 94/85 punto 3.1; Classe 3; DCRT 230/94 art. 7 comma 6.3).*

La definizione della sottoclasse è stata stabilita dal professionista redattore della relazione geologica di PRG per i seguenti motivi: *zone in cui il tetto delle argille compressibili è posto a profondità superiori ai 2 m dal p.c..*

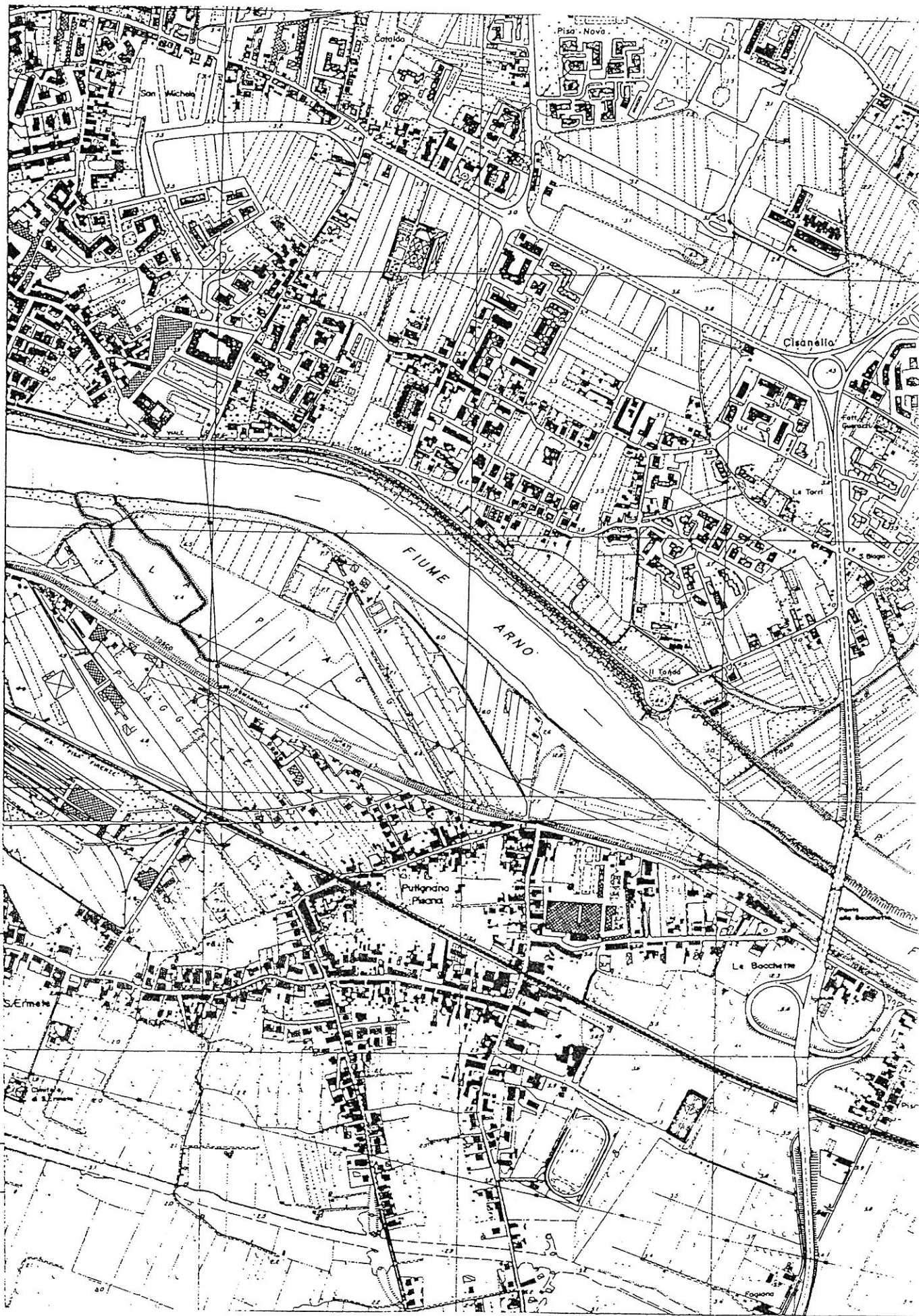
A conclusione dello studio in oggetto si ritiene di confermare il grado di pericolosità esposto nel PRG (Classe 3a) mentre per quanto riguarda la fattibilità l'intervento è ritenuto fattibile per edifici analoghi a quelli attualmente presenti sull'area; le interazioni dell'opera col terreno dovranno essere affrontati in fase di singolo progetto in modo da dimensionare e scegliere la fondazione più opportuna in relazione ai carichi e al tipo di fabbricato.

Pisa, dicembre 1999

Dott. Geol. Andrea Sodi



ALLEGATI







UBICAZIONE DELL'AREA (base CTR 1/10.000)



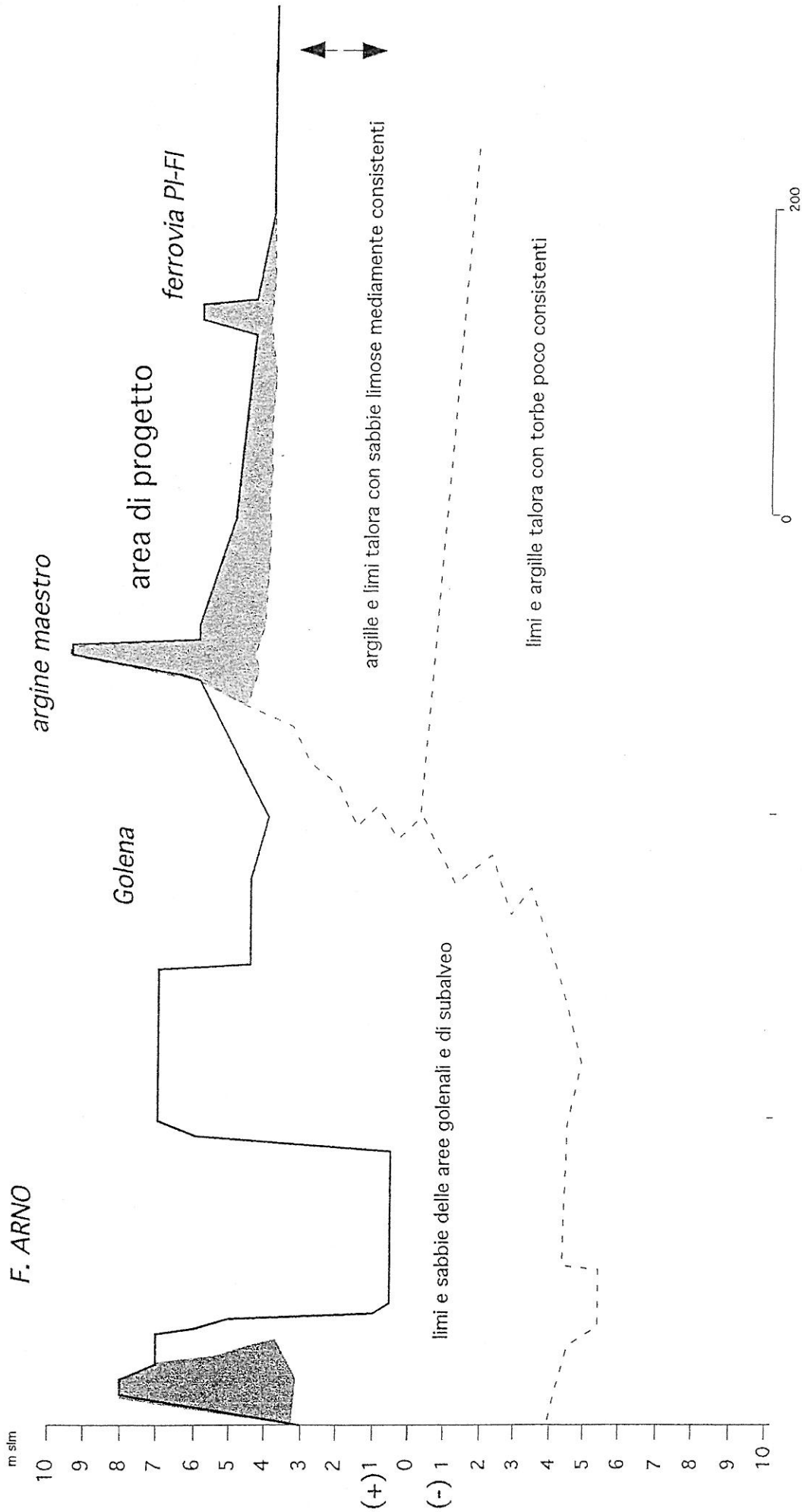
CARTA GEOMORFOLOGICA

base CTR 1/10.000

-  g - Depositi alluvionali limo-sabbiosi delle aree golenali
-  al - Depositi di piana alluvionale prevalentemente limo-sabbiosi
-  Palealvei
-  Area di progetto

NORD

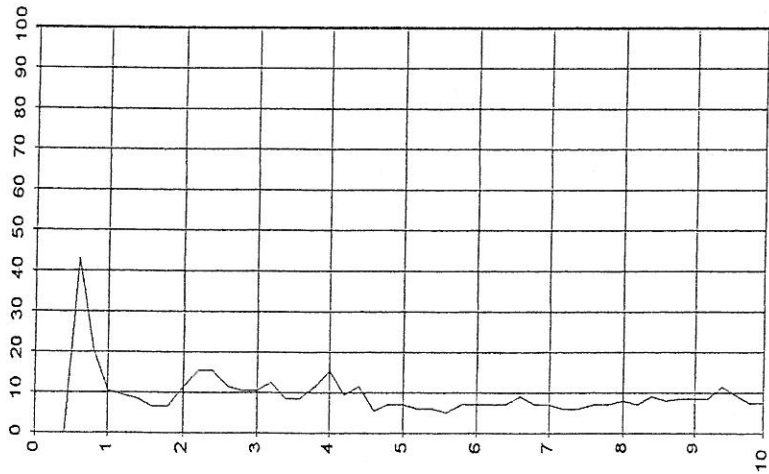
SUD



▲▲ terreni interessati dalla prima falda
 ┆ ┆ escursione legata alle variazioni del livello
 ▼▼ in alveo

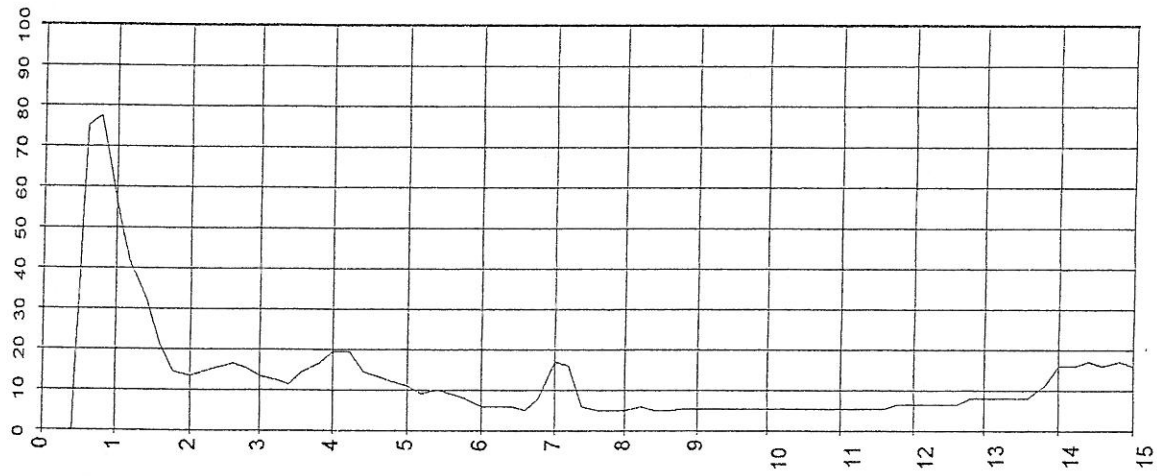
▨ terreni di riporto di origine antropica
 costituenti gli argini i rilevati ecc.

SEZIONE MORFOLOGICA E LITOLOGICA INTERPRETATIVA
 scala or. 1:4.000

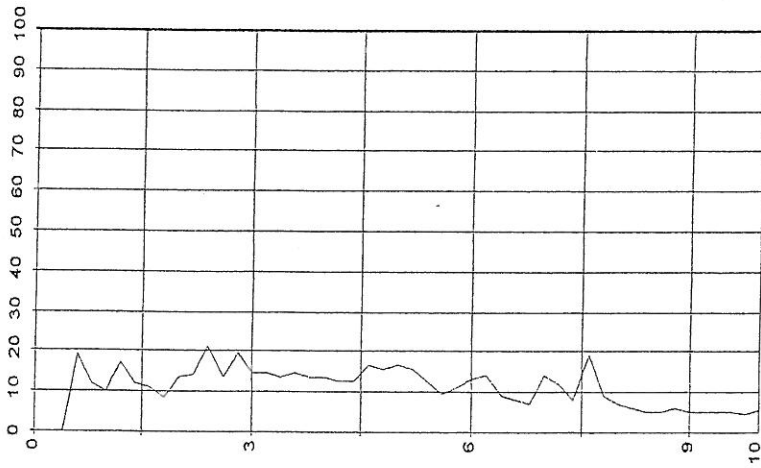


◇ 1

↑ →
 Profili tipici di piana di esondazione
 con terreni scadenti (limi e argille
 organiche) presenti da 4-5 m di profondità

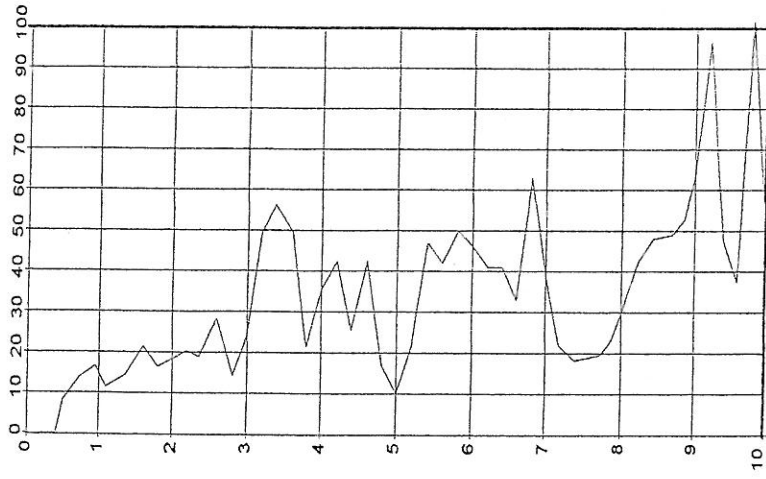


◇ 2



◇ 3

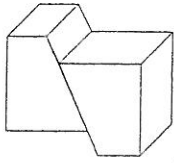
Profilo tipico di piana di esondazione
 con terreni scadenti (limi e argille
 organiche) presenti da 7-8 m di pro-
 fondità



◇ 4

Profilo tipico di paleovalve sepolto
 con terreni prevalentemente sabbio-
 si con buone caratteristiche
 geomeccaniche

Profili tipo di resistenza alla punta (Kg/cm²) di prove CPT eseguite in aree limitrofe a sud dell'Arno



STUDIO DI GEOLOGIA

Dott. Geol. Andrea Sodi

Comune di Pisa

CONSORZIO "CENTRO COMMERCIALE LA CELLA"

RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

(L.R. 74/84 art. 3 e 4, Del. Regione Toscana 21 Giugno 1994 n. 230)

*Piano Particolareggiato per Insediamento
Commerciale Artigianale di Iniziativa Privata in
località La Cella*

Dott. Ing. Carlò Calastri

Pisa, dicembre 1999

INDICE

0. *Introduzione*

1. *Individuazione dell'Ambito di appartenenza dell'area interessata*

2. *Individuazione dell'ambito di appartenenza ai sensi della Delibera CRT n. 230/94*

3. *Dimostrazione dell'assenza di fenomeni di inondazione o ristagno*

3.1 *Studio idrologico – idraulico: determinazione della portata centennale*

3.2. *Tracciamento del profilo di rigurgito relativo alla portata centennale*

3.3. *Analisi dei fenomeni di ristagno locali*

4. *Conclusioni*

Appendice A – Analisi idrologiche. Descrizione del programma Fortran Ev1.FOR

Appendice B – Idraulica del moto permanente gradualmente variato di correnti monodimensionali a pelo libero. Descrizione del Programma Fortran Profili

Appendice C – Sezioni dell'Arno comprese tra la N. 129 e la N. 112.

Dott. Ing. **CARLO CALASTRI**
ALBO DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI PISA N. 1019

0 - INTRODUZIONE

I presente studio idrologico - idraulico costituisce parte integrante del *progetto per la realizzazione del PIANO PARTICOLAREGGIATO PER INSEDIAMENTO COMMERCIALE E ARTIGIANALE DI INIZIATIVA PRIVATA IN LOCALITA' LA CELLA , PISA*

Nell'alveo dell'Arno, in prossimità della zona interessata all'intervento, si individua un letto di magra, normalmente occupato dall'acqua, largo circa 100 m, ed un letto di piena costituito dal letto di magra e dalle golene. Queste ultime vengono invase dall'acqua solo durante le piene e sono separate dalla campagna circostante dagli argini maestri.

Nel tratto interessato l'Arno presenta una larghezza media, misurata su C.T.R. scala 1:5000, tra i piedi esterni degli argini , compresa tra 170 m e 500 m.

Il presente studio si articola in due parti :

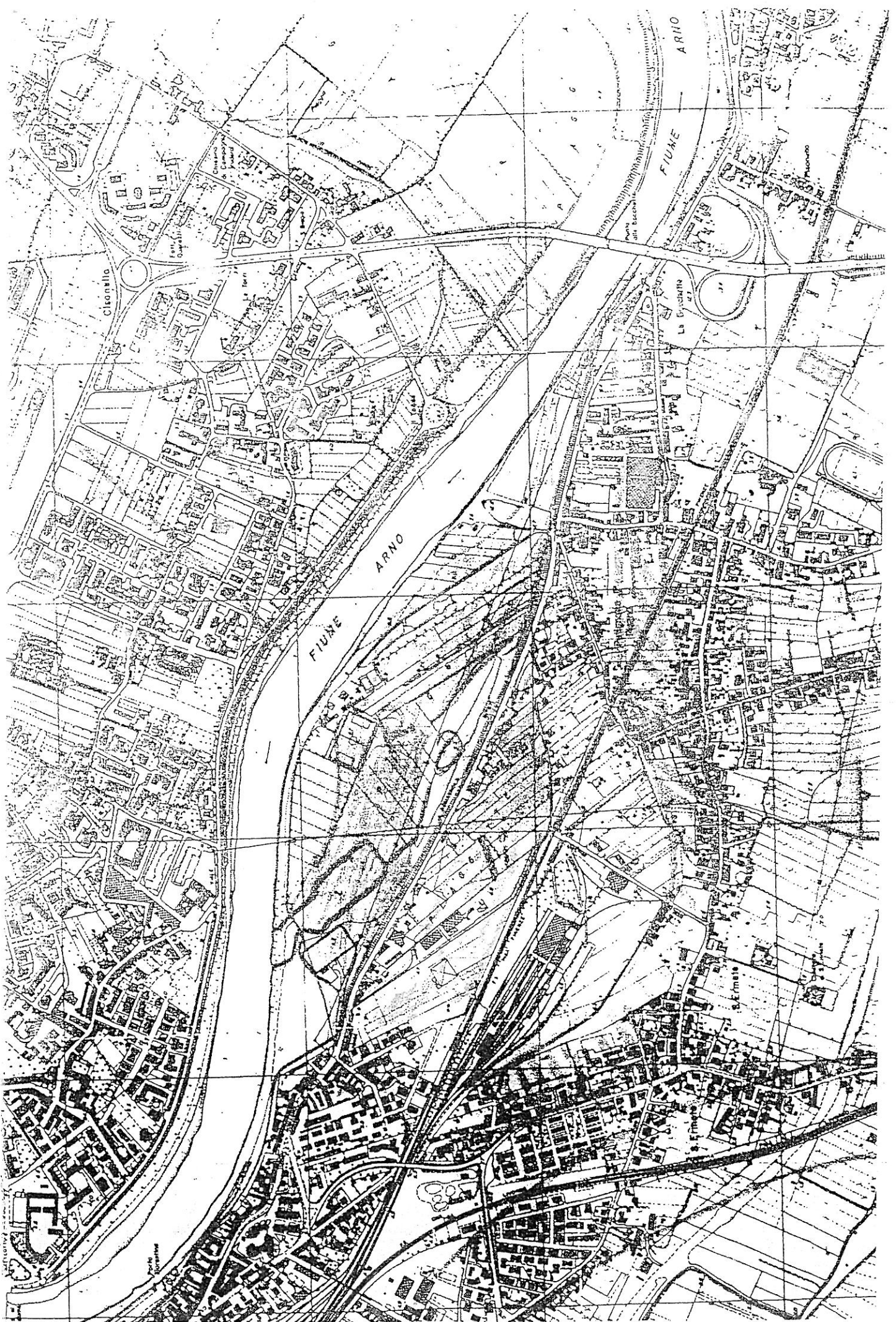
- nella prima viene individuato l'ambito di appartenenza dell'area destinata all'intervento;
- nella seconda si procede allo studio idraulico per la dimostrazione dell'assenza delle condizioni di rischio legate a fenomeni di esondazione o ristagno.

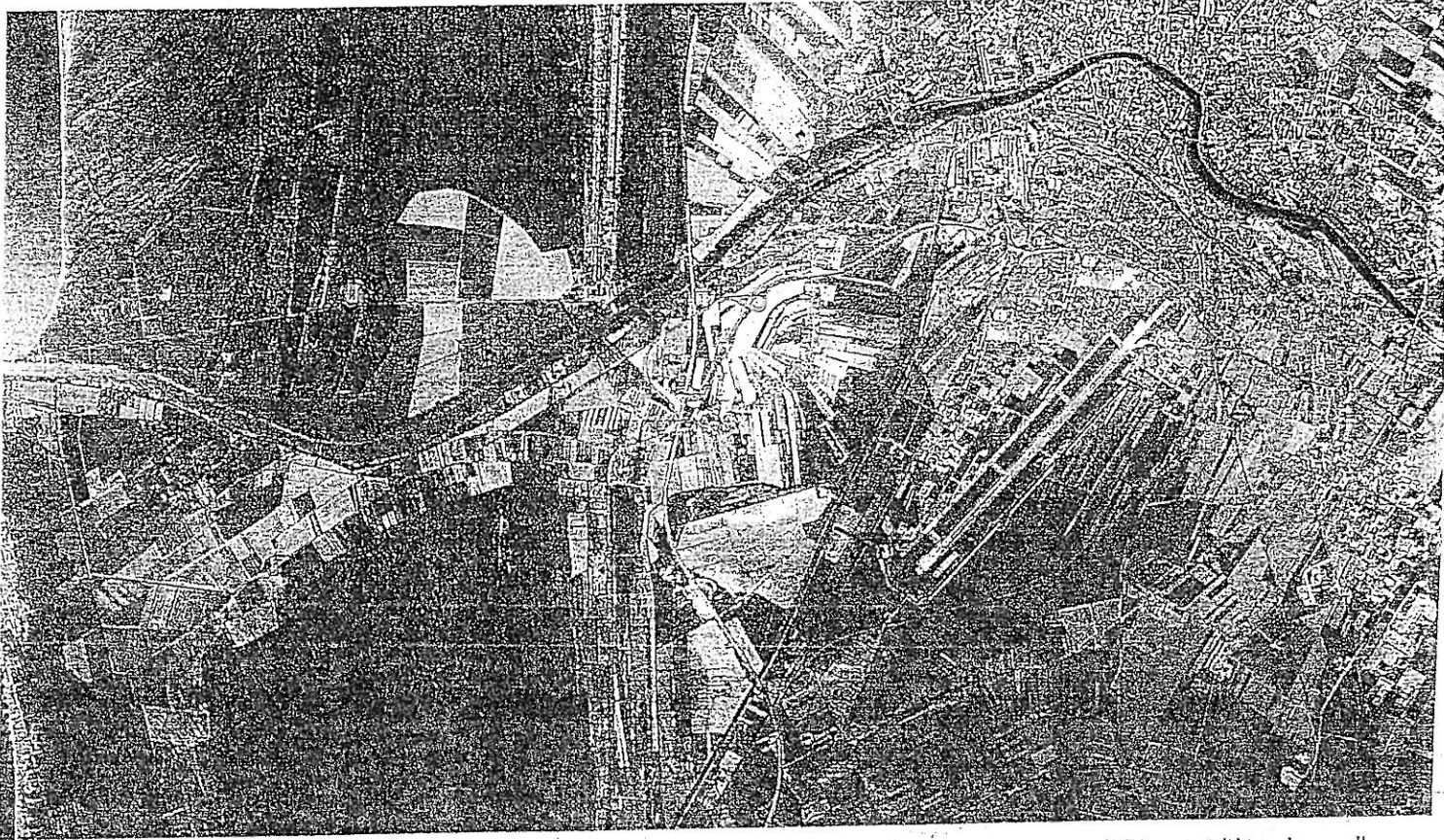
2. Individuazione dell'Ambito di appartenenza dell'area interessata dall'intervento

Ai sensi della "Delibera Regionale del 21 giugno 1994 n. 230 , *Provvedimenti sul rischio idraulico ai sensi degli art. 3 e 4 della L.R. n. 74/84 "Adozioni di prescrizioni e vincoli. Approvazione di direttive "* , l'intervento e' definito " *condizionato alla dimostrazione dell'assenza delle condizioni di rischio idraulico "* , e rientra nell'Ambito denominato A2 di tutela del corso d'acqua e di possibile inondazione.

Infatti :

- l'area e' compresa in una zona potenzialmente inondabile del fiume Arno ed il corso d'acqua risulta inserito nell'apposito elenco costituente *l'allegato N. 1 della Delibera Regionale* di cui sopra ;
- e' un'intervento privato soggetto a concessione edilizia e come tale rientrante nell'ambito di applicazione delle prescrizioni e dei vincoli sul rischio idraulico ;
- non rientra nell'ambito denominato A1 , definito " *di assoluto rispetto del corso d'acqua "* , essendo stato garantito il margine minimo di almeno 10 m dal piede esterno dell'argine ;
- rientra nelle fasce immediatamente esterne all'ambito A1 che hanno larghezza pari a 100 m oltre la fascia relativa all'ambito A1.





L'ARNO: tratto dalla foce a Cascina (Pi) - Sul litorale è visibile, a sinistra della foce, l'abitato di Marina di Pisa e, sul lato destro, l'erosione della costa nei pressi di S. Rossore. A valle della città di Pisa (al centro della foto), si nota la rettifica dell'Arno dovuta al taglio dei meandri di Barbaricina (1770) e lo spostamento verso nord della foce ("taglio ferdinando", iniziato nel 1606). All'altezza di Pisa si evidenzia il restringimento dell'alveo nel centro della città. Tra Pisa, la zona di Cascina e fino alla valle di Bientina (sulla destra della foto), si notano i meandri del fiume, di varia ampiezza, in parte modificati. La costruzione degli argini e delle attigue strette golene, pre-

3. Dimostrazione dell'assenza delle condizioni di rischio legate a fenomeni di esondazione e ristagno.

Lo studio si sviluppa nel modo seguente :

1. viene individuata lungo il corso d'acqua una sezione dotata di stazione di misura rappresentativa e vengono elaborati con metodi statistici i dati relativi alle portate al colmo e alle relative altezze idrometriche ;
2. dall'elaborazione precedente si ricava il valore della portata al colmo con tempo di ritorno di 100 anni (portata centennale)
3. si traccia il profilo di rigurgito del pelo libero del corso d'acqua a partire dalla stazione di misura fino ad una sezione prospiciente la zona di intervento e si verifica se il tratto significativo del corso d'acqua in tale zona e' esente da rischio di inondazione relativo alla piena centennale.
4. Si analizza le piogge intense che possono interessare l'area in esame ed il reticolo idrografico superficiale costituito dai piccoli fossi di scolo dell'area e si verifica la loro capacita' a smaltire le portate generate da tali piogge.

3.1 Determinazione della portata centennale

Nel tratto dell'Arno prospiciente la zona interessata dall'opera in progetto , non esiste una stazione di misura delle portate per cui ci si deve necessariamente riferire ai dati delle portate relativi ad una sezione diversa , munita di stazione di misura.

A monte della zona di intervento, la stazione idrometrica di misura che dispone della serie storica di dati più completa e' la *stazione idrometrica di S. Giovanni alla Vena* ed e' a questa che faremo riferimento.

Il tronco di Arno considerato e' un tronco solitario, cioè non presenta affluenti significativi, tali da influenzare la propagazione della portata tra S. Giovanni alla Vena e Pisa. L'unico affluente e' lo Zambra, che ha un bacino imbrifero alla foce di 22 Km² e quindi genera portate irrilevanti rispetto a quelle dell'Arno.

Tab.1 - Valori della superficie del bacino imbrifero sotteso.

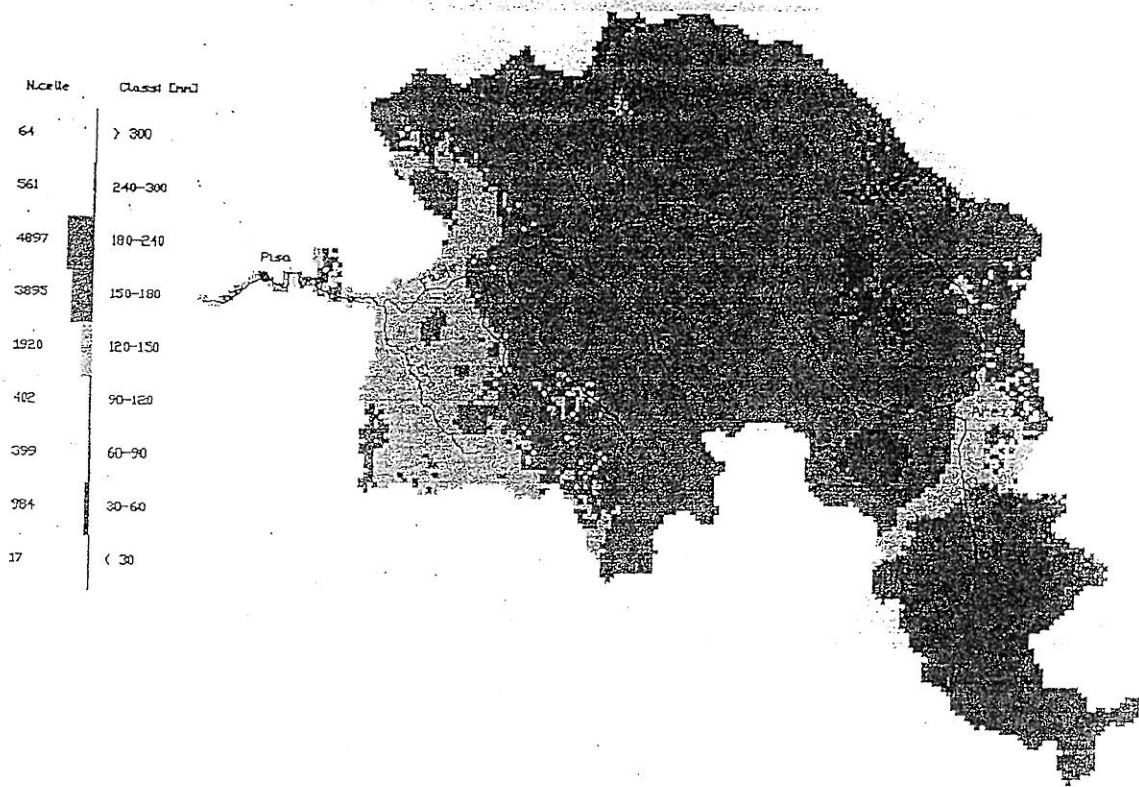
Sezione	Superficie del bacino imbrifero sotteso in Km ²
Arno a S. Giovanni alla Vena	8186
Arno alla Foce	8259

Fondamenti teorici dell'analisi

Gli eventi idrografici , nel nostro caso le portate al colmo, sono il risultato di un numero elevatissimo di cause più o meno dipendenti tra loro :

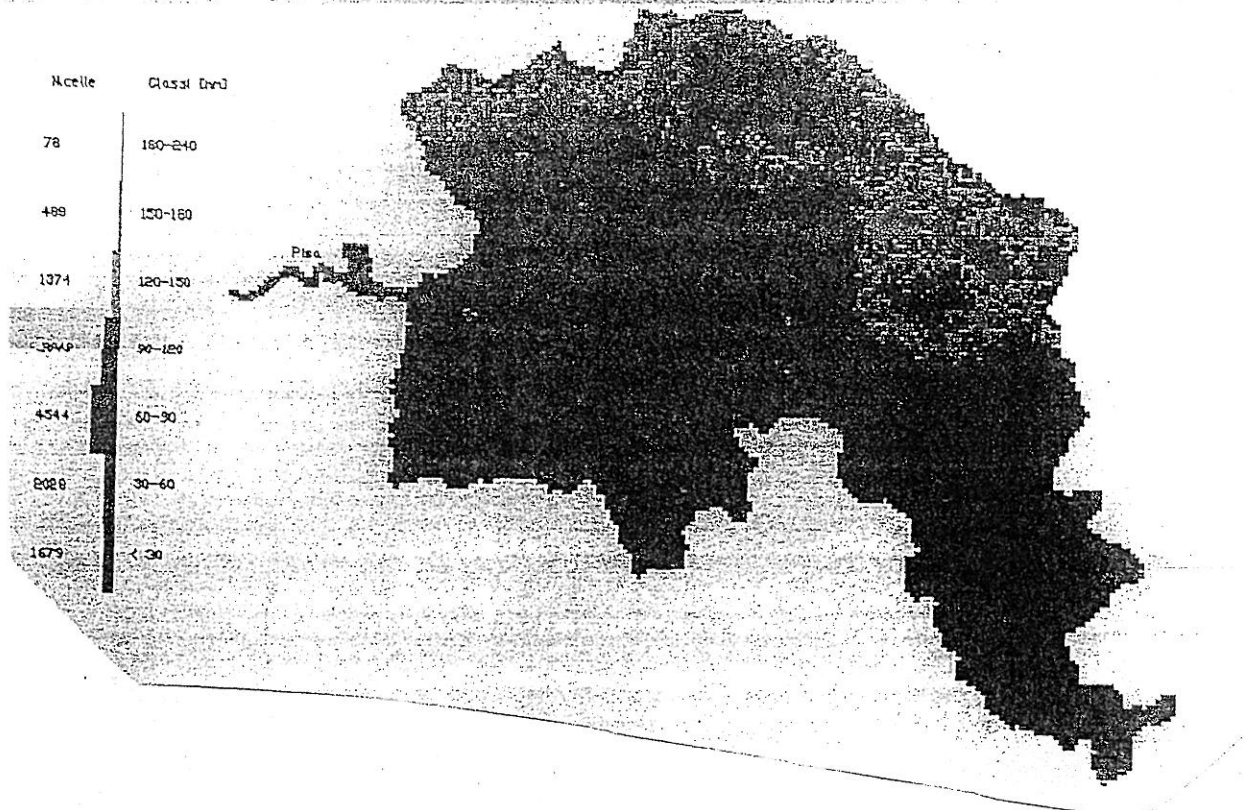
- distribuzione spazio-temporale degli afflussi
- estensione del bacino imbrifero
- permeabilità' del bacino e uso del suolo
- copertura vegetale
- invasi superficiali e sotterranei presenti
- distribuzione delle temperature
- pendenza e geometria del bacino imbrifero
- Ecc.

BACINO FIUME ARNO
 Precipitazione dal 03-11-66 ore 9 al 06-11-66 ore 9
 Raster 800x800 - Numero di celle 13139



Eventi alluvionali di riferimento per il piano di bacino: 1966 e 1992 - Confronto tra la quantità delle precipitazioni e la distribuzione sul bacino dell'Arno negli eventi verificatisi dal 3 al 6 Novembre 1966 e dal 29 Ottobre all'1 Novembre 1992.

BACINO FIUME ARNO
 Precipitazione dal 29-10-92 ore 9 al 01-11-92 ore 9
 Raster 800x800 - Numero di celle 13139



Questi fattori geometrici e fisici hanno distribuzioni spaziali complesse ed inoltre dipendono dal tempo, pertanto lo studio fenomenologico della formazione e propagazione dei deflussi in un bacino comporta la scrittura di sistemi di equazioni differenziali alle derivate parziali molto complicate e fortemente non lineari che risultano difficilmente trattabili dal punto di vista matematico e di difficile taratura.

Inoltre, molti dei fenomeni connessi alla propagazione dei deflussi, come l'infiltrazione della pioggia nel suolo o l'assorbimento da parte delle piante dell'acqua ipodermica, non sono ben conosciuti neppure fisicamente e questo rende l'approccio fenomenologico ancora più incerto ed applicabile solo a bacini sperimentali semplificati, per cui praticamente un approccio deterministico risulta di fatto improponibile.

Un approccio moderno allo studio di questi fenomeni, come è noto, è ormai di tipo probabilistico. Si tratta in definitiva di interpretare, introducendo delle opportune funzioni di distribuzione degli eventi considerati, i dati di un numero sufficiente di osservazioni estrapolandone i risultati oltre il limite stesso del campione.

Naturalmente, per l'applicabilità di questi metodi è necessario presupporre che il sistema dinamico sia markoviano, cioè i singoli eventi siano scorrelati tra loro. Questa ipotesi, nel caso di fenomeni idrologici ravvicinati generati da uno stesso bacino, non è del tutto corretta, ma l'approssimazione risulta ragionevole se ci limitiamo ad analizzare i valori massimi annuali delle serie temporali di pioggia, idrometriche o di portata in una data sezione.

Accettata dunque la validità dell'impiego dei metodi statistici per il nostro studio, diciamo subito che tali metodi forniscono dei valori della portata di massima piena in funzione del cosiddetto *Tempo di Ritorno* T_R , definito come la durata media, in anni, del periodo in cui il valore assegnato x della variabile idrologica viene superato una sola volta, il quale, a sua volta, è legato alla *Probabilità di superamento* $P(x)$, dalla relazione :

$$P(x) = \frac{1}{T_R}$$

Mentre la probabilità di non superamento $\phi(x)$ del valore x è ovviamente :

$$\phi(X < x) = 1 - P(X > x) = 1 - 1/T_R$$

La $\phi(X < x)$ è detta anche durata probabile del valore di x e rappresenta la probabilità che si verifichi un valore della grandezza idrologica minore od uguale ad x .

Il metodo statistico scelto tra quelli disponibili in letteratura, è stato quello di Gumbel o del valore estremo.

Tale distribuzione si basa sulle seguenti considerazioni :

da un universo, costituito da tutti gli eventi possibili e di cui la serie temporale osservata è un campione, si estraggono n campioni di ciascun campione si considera il valore massimo.

La serie dei valori massimi costituisce a sua volta una variabile aleatoria, la cui funzione di distribuzione, qualunque sia la sua forma, tende, per $n \rightarrow \infty$, alla forma limite :

$$\phi(x) = \exp(-\exp(-y))$$

dove :

$$y = \alpha(x - \beta)$$

da cui :

$$y = -\ln[-\ln(\phi(x))] = -\ln[-\ln(1 - 1/T_R)]$$

Si tratta quindi di una distribuzione a due parametri, α e β , i quali verranno stimati dal campione utilizzando il *metodo dei momenti*, descritto in appendice A assieme al programma Fortran Ev1.for utilizzato, che porta alla seguente espressione di detti parametri in funzione della media e della deviazione standard del campione:

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{\sigma(x)}{1,283}$$

$$\beta = m(x) - 0,45\sigma(h)$$

Per verificare poi l'adattamento della curva ai valori sperimentali e quindi la sua significatività, faremo uso del test del χ^2 e di Kolmogorov - Smimov.

Il valore stimato del parametro è la media di un insieme di valori distribuiti normalmente e pertanto l'incertezza della valutazione è calcolabile con assegnato grado di rischio di errore secondo la relazione:

$$\bar{x} - t_\alpha * S_\beta < x < \bar{x} + t_\alpha * S_\beta$$

che stabilisce quindi una fascia di *confidenza* (o di *incertezza*; ANSELMO e LEONE, 1990) intorno al valore stimato. I simboli indicano rispettivamente:

\bar{x}	valore medio stimato
t_α	coefficiente dipendente dalla probabilità di errore che si intende accettare. Per esempio $t = 1,96$ per la probabilità di trovare il valore calcolato entro la fascia è pari al 95%
S_β	errore standard della stima, il cui algoritmo dipende dalla distribuzione di frequenza adottata e dal metodo di calcolo dei parametri

L'ampiezza della fascia entro cui può variare il valore stimato cresce al crescere del tempo di ritorno e, in genere, con la varianza del campione. Si comprende quindi quanto sia dubbia la pretesa di stimare i valori con tempo di ritorno molto elevato.

Inoltre, è di norma opportuno riportare i risultati su *carta probabilistica di GUMBEL* per verificare anche visivamente l'adattamento della effettiva distribuzione dei valori osservati alla distribuzione teorica.

Perciò viene associato a ciascuno degli n valori osservati ed ordinati in senso crescente la relativa durata probabile oppure il relativo T_R .

Per calcolare la durata probabile di ciascun valore osservato facciamo uso della espressione di Weibull:

$$\phi(m) = m/(n+1)$$

dove n è il numero totale degli eventi registrati ed m è la posizione del generico evento nell'ordinamento crescente.

Nota che $\phi(m)$ è possibile calcolare il T_R che, sempre per l'osservazione di ordine m , è:

$$T_R = 1/(1-\phi(m)) = (n+1)/(n+1-m)$$

Applicazione alla stazione di misura di S. Giovanni alla Vena

Passiamo ora all'applicazione di quanto detto ai valori osservati delle portate al colmo nella *stazione di S. Giovanni alla Vena*.

Cominciamo col riportare nella *Tabella 2* i dati relativi alla suddetta stazione di misura tenendo conto che fino all'anno 1970 compreso tali valori sono desunti dalla pubblicazione *Dati caratteristici dei corsi d'acqua italiani* a cura del *Servizio Idrografico Italiano*, mentre dal 1971 al 1992 i dati sono stati forniti dall'*Ufficio Idrografico di Pisa*.

Per omogeneizzare tutti i dati del campione, si è tenuto conto che quelli a partire dal 1976 sono misurati con lo scolmatore di Pontedera già in funzione. Le portate scolmate sono state fornite dal *Provveditorato alle opere Pubbliche di Pisa*. In tabella n. 3, estratta dai quaderni dell'Autorità di bacino, sono riportate le caratteristiche di progetto dello Scolmatore. nelle tabelle 4 e 5 sono riportati i dati e il risultato dell'analisi, i quali sono anche riportati nei grafici delle figure 1,2,3.

In conclusione la portata al colmo con tempo di ritorno di cento anni, compresa l'eventuale portata scolmata, vale :

$$Q_{100} = 2962 \text{ mc/sec}$$

Supponendo una portata scolmata (Vedi scheda allegata tratta dai quaderni della Autorità di Ambito) di circa 1000 mc/sec, ne discende che la portata centennale effettiva da considerare risulta approssimativamente :

$$Q_{100} = 1962 \text{ mc/sec} \approx 2000 \text{ mc/sec}$$

Tale valore quindi, sarà usato per la verifica idraulica successiva.

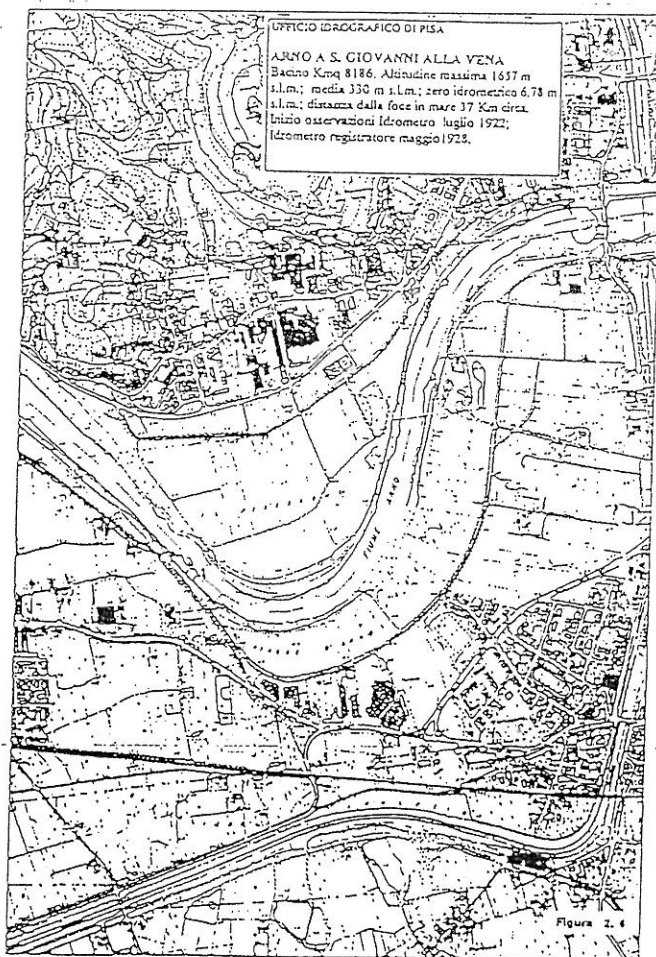
3.2 Determinazione dell'altezza liquida relativa alla portata centennale alla Stazione di S. G. alla Vena.

L'altezza liquida alla stazione di S. Giovanni alla Vena e' stata dedotta dalla scala di deflusso sperimentale fornita dall'UFFICIO IDROGRAFICO DI PISA che riportiamo in Tab. 6. Dall'espressione riportata nell'ultima riga della tabella, per $h > 6 \text{ m}$, imposto $Q=Q_{100}=2000 \text{ mc/sec}$, tenendo presente che lo zero idrometrico e' posto a 6.71 m.s.l.m.m., otteniamo :

$$h' = 8.81 \text{ m}$$

dallo zero idrometrico, da cui :

$$h = 8.81 + 6.71 = 15.52 \text{ m.s.l.m.m.}$$



SCHEDA TECNICA

SCOLMATORE DELL'ARNO

E' un'opera idraulica preposta alla salvaguardia dal rischio di piena delle zone adiacenti al tronco del fiume Arno a valle di Pontedera, con particolare riferimento a Pisa città.

L'opera, iniziata nel 1953 (su progetto redatto dall'Ufficio del Genio Civile di Pisa), è stata completamente terminata per una portata di calcolo pari a 1.400 mc/sec nel 1987, pur essendo il canale già funzionante per una portata pari a 500 mc/sec nel 1972.

Oltre al canale scolmatore ed a tutte le opere complementari (opere di presa, arginature, ponti, etc.) è stato realizzato il canale allacciante dell'Usciana, che tramite una botte a sifone che sottopassa l'Arno convoglia le acque di piena provenienti dal Padule di Fucecchio direttamente nello Scolmatore; è stato inoltre modificato il percorso originale del Fiume Tora, che sboccava direttamente al mare, facendolo confluire nello scolmatore, diminuendone la lunghezza di circa 10 Km e compensandone la pendenza con la realizzazione di quattro briglie di altezza media pari a m. 1,70.

Il costo relativo ai lavori, terminati nel 1972, fu di 17 MLD, quello delle opere di ampliamento, sostanzialmente completate nel 1987, pari a 47 MLD.

- Ubicazione	In un punto di flesso dell'Arno immediatamente a valle di Pontedera e dell'immissione del Fiume Era		
- Lunghezza canale	32,20 Km		
- Sezione	Trapezia con savanella centrale per le portate di magra		
- Pendenza media	0,19%		
- Quota soglia sfiorante	+12 m.l.m.		
- Quota sommità paratoia per cui inizia automaticamente lo scolmo	+16 m.l.m.		
- Q max tot. *	1.400 mc/sec	Q max Arno	900 mc/sec
		Q max Usciana	500 mc/sec
- Q min	75 mc/sec		
- Altezze liquide nello scolmatore	a valle delle opere di presa		alla foce
per Q = 75 mc/sec	h = 2,50		h = 0,00
per Q = 500 mc/sec	h = 6,16		h = 0,70
per Q = 1.400 mc/sec	h = 7,38		h = 0,70
- Principali affluenti			
- Il Fosso Reale (Q _{max} 76 mc/sec)	in sx alla progressiva 19,600.		
- Il F. Tora (Q _{max} 350 mc/sec)	in sx alla progressiva 20,794.		
- La Fossa Nuova (Q _{max} 24 mc/sec)	in dx alla progressiva 25,000.		
- Il Fosso Torretta (Q _{max} 13 mc/sec)	in sx alla progressiva 27,100.		
- Il Canale del Navicelli e l'emissario di Bientina	in dx in prossimità della foce.		

* La portata effettivamente scolmabile risulta essere pari a 1.200 mc/sec e non a 1.400, in quanto la portata del Canale di Usciana risulta inferiore a quella di calcolo e pari a 300 mc/sec.

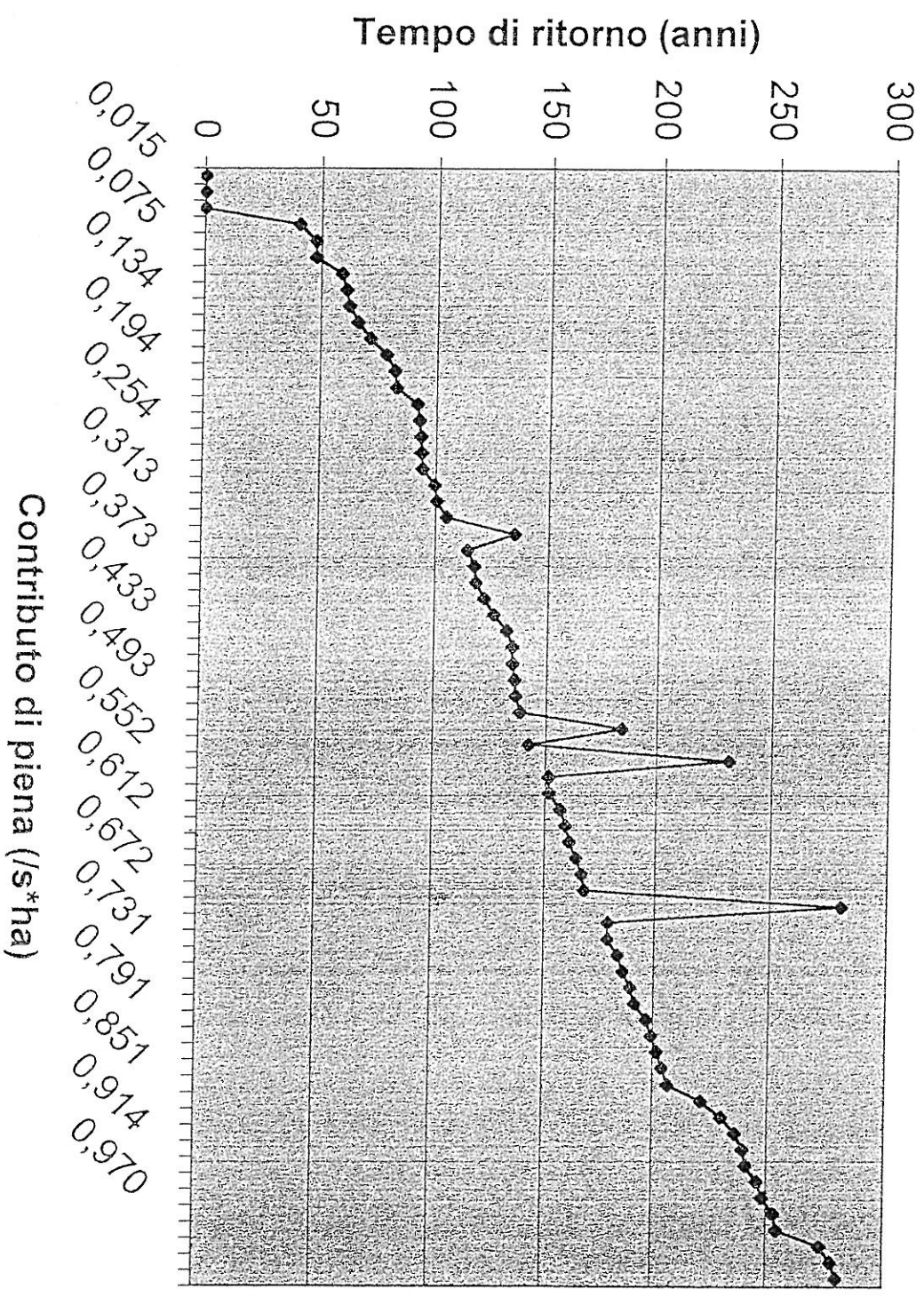
Dati della stazione Idrometrica di S. Giovanni alla Vena

Anna	Portata al colmo (m³/sec)	Portata scobinata (m³/sec)	Portata Totale (m³/sec)	Contributo di Pioggia (Masc/Kmq)
1874	1240	0	1240	151
1875	1670	0	1670	204
1876	1970	0	1970	241
1877	1460	0	1460	178
1878	2030	0	2030	248
1879	2230	0	2230	272
1880	1130	0	1130	138
1881	2070	0	2070	262
1882	1830	0	1830	199
1883	2080	0	2080	239
1884	1830	0	1830	251
1885	1340	0	1340	161
1886	1650	0	1650	202
1887	1850	0	1850	227
1888	784	0	784	97
1889	1480	0	1480	178
1890	1520	0	1520	186
1891	1685	0	1685	205
1892	1550	0	1550	189
1893	988	0	988	122
1894	0	0	0	0
1895	0	0	0	0
1896	1114	0	1114	136
1897	1881	0	1881	230
1898	1810	0	1810	221
1899	2270	0	2270	277
1900	2010	0	2010	246
1901	1100	0	1100	136
1902	1600	0	1600	196
1903	1340	0	1340	163
1904	1650	0	1650	202
1905	960	0	960	117
1906	741	0	741	83
1907	756	0	756	87
1908	1810	0	1810	221
1909	1280	0	1280	156
1910	1600	0	1600	196
1911	1590	0	1590	194
1912	1370	0	1370	167
1913	813	0	813	99
1914	1078	0	1078	131
1915	834	0	834	101
1916	1076	0	1076	130
1917	127	0	127	15
1918	2280	0	2280	282
1919	505	0	505	62
1920	1315	0	1315	161
1921	866	0	866	106
1922	1315	0	1315	161
1923	635	0	635	78
1924	578	0	578	71
1925	388	0	388	47
1926	478	0	478	58
1927	0	0	0	0
1928	1102	0	1102	135
1929	973	0	973	119
1930	747	0	747	91
1931	1110	0	1110	136
1932	855	0	855	104
1933	1101	0	1101	134
1934	1163	0	1163	142
1935	788	0	788	94
1936	538	0	538	65
1937	887	0	887	108
1938	1238	0	1238	151
1939	330	0	330	40
1940	330	0	330	40
1941	1031	0	1031	128
1942	1212	680	1892	231
1943	1411	880	2291	280

Elaborazione dei dati della Stazione di S. Giovanni alla Vena

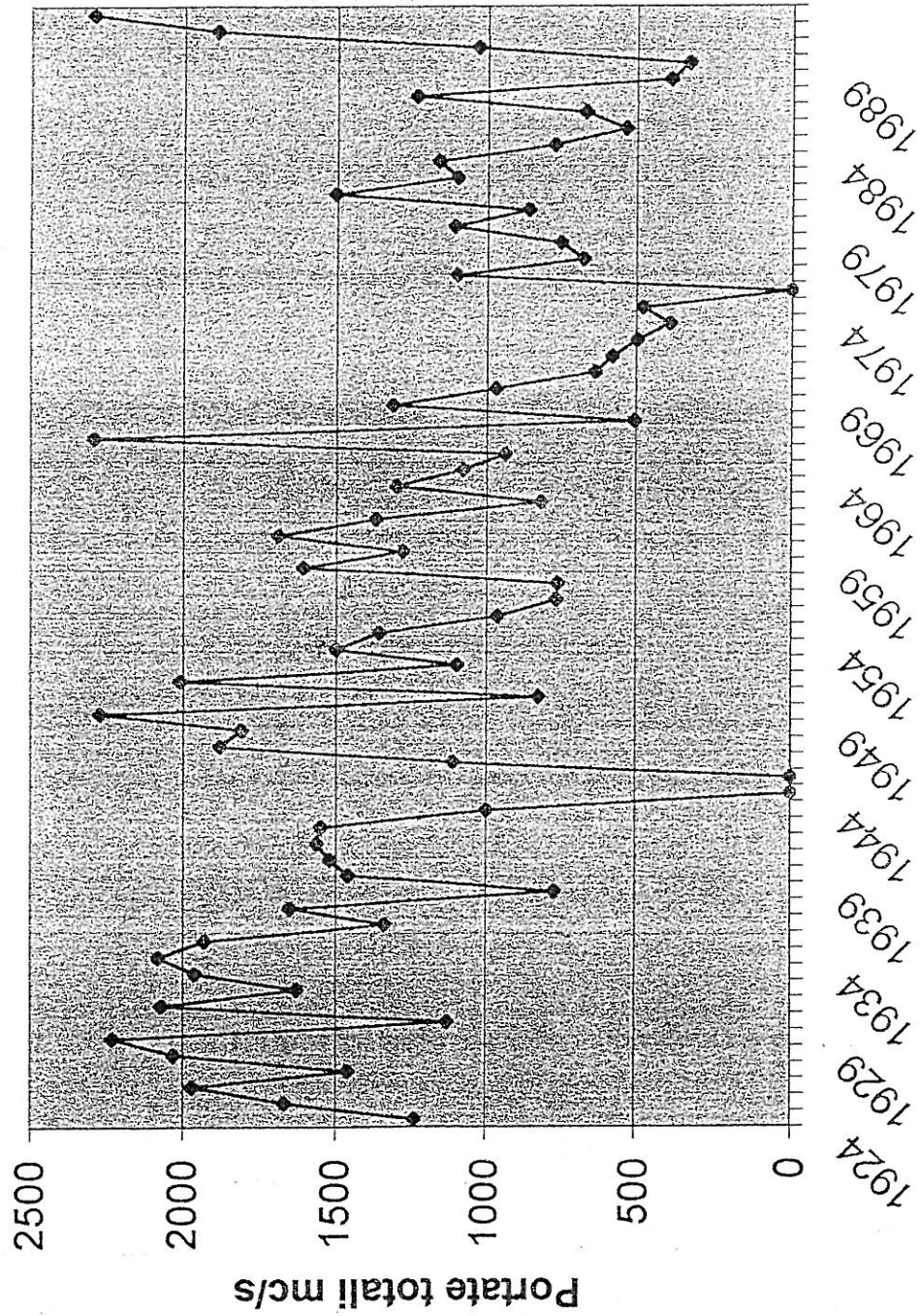
Ordinamento crescente	Anno di osservazione	Portata al colmo (m³/sec)	Portata scobinata (m³/sec)	Portata Totale (m³/sec)	Contributo di Pioggia (Masc/Kmq)	Tempo di ritorno T _r (anni)	Durezza	Variabile idrologica
1	1874	0	0	0	0	1,02	0,015	-1,435
2	1875	0	0	0	0	1,03	0,030	-1,258
3	1876	0	0	0	0	1,05	0,045	-1,133
4	1877	330	0	330	40	1,08	0,050	-1,038
5	1878	138	0	138	17	1,08	0,072	-0,854
6	1879	388	0	388	47	1,10	0,080	-0,881
7	1880	478	0	478	58	1,12	0,105	-0,813
8	1881	199	0	199	24	1,14	0,118	-0,754
9	1882	505	0	505	62	1,18	0,129	-0,697
10	1883	239	0	239	29	1,20	0,149	-0,633
11	1884	251	0	251	31	1,20	0,154	-0,629
12	1885	161	0	161	19	1,20	0,179	-0,565
13	1886	202	0	202	24	1,24	0,184	-0,548
14	1887	87	0	87	8	1,26	0,209	-0,488
15	1888	178	0	178	21	1,26	0,224	-0,463
16	1889	756	0	756	92	1,31	0,239	-0,358
17	1890	781	0	781	93	1,34	0,254	-0,318
18	1891	754	0	754	93	1,35	0,265	-0,285
19	1892	988	0	988	122	1,39	0,281	-0,240
20	1893	768	0	768	94	1,42	0,295	-0,197
21	1894	820	0	820	100	1,46	0,313	-0,149
22	1895	955	0	955	104	1,49	0,328	-0,108
23	1896	931	0	931	104	1,52	0,343	-0,087
24	1897	2770	0	2770	334	1,52	0,358	-0,076
25	1898	874	0	874	114	1,58	0,372	0,014
26	1899	968	0	968	117	1,60	0,373	0,014
27	1900	998	0	998	123	1,62	0,398	0,055
28	1901	1031	0	1031	126	1,73	0,403	0,089
29	1902	1079	0	1079	132	1,76	0,419	0,139
30	1903	1505	0	1505	184	1,81	0,438	0,172
31	1904	117	0	117	13	1,81	0,448	0,172
32	1905	741	0	741	83	1,86	0,463	0,200
33	1906	83	0	83	10	1,86	0,483	0,230
34	1907	756	0	756	94	1,91	0,478	0,303
35	1908	85	0	85	11	1,91	0,483	0,345
36	1909	197	0	197	24	2,03	0,507	0,388
37	1910	166	0	166	18	2,09	0,527	0,432
38	1911	206	0	206	24	2,18	0,537	0,476
39	1912	167	0	167	21	2,23	0,552	0,521
40	1913	99	0	99	12	2,23	0,562	0,567
41	1914	158	0	158	19	2,31	0,582	0,614
42	1915	101	0	101	12	2,31	0,597	0,667
43	1916	161	0	161	19	2,36	0,614	0,711
44	1917	181	0	181	22	2,46	0,637	0,761
45	1918	178	0	178	21	2,46	0,642	0,812
46	1919	167	0	167	18	2,56	0,672	0,861
47	1920	860	0	860	106	3,16	0,872	1,167
48	1921	1411	0	1411	178	3,35	0,701	1,037
49	1922	1468	0	1468	178	3,53	0,716	1,096
50	1923	1506	0	1506	183	3,72	0,731	1,157
51	1924	1520	0	1520	186	3,84	0,746	1,226
52	1925	1530	0	1530	189	4,19	0,761	1,293
53	1926	1541	0	1541	191	4,47	0,776	1,373
54	1927	1541	0	1541	191	4,79	0,791	1,451
55	1928	1550	0	1550	199	5,15	0,809	1,534
56	1929	1560	0	1560	202	5,58	0,821	1,623
57	1930	1670	0	1670	202	6,09	0,836	1,718
58	1931	1680	0	1680	204	6,27	0,852	1,812
59	1932	1810	0	1810	210	6,70	0,867	1,911
60	1933	1810	0	1810	210	7,14	0,881	1,996
61	1934	1930	0	1930	218	7,59	0,896	2,082
62	1935	1980	0	1980	228	8,03	0,911	2,171
63	1936	1970	0	1970	228	8,48	0,926	2,261
64	1937	2010	0	2010	241	8,93	0,941	2,352
65	1938	2030	0	2030	246	9,38	0,956	2,444
66	1939	2070	0	2070	253	9,83	0,971	2,537
67	1940	2080	0	2080	254	10,28	0,986	2,631
68	1941	2090	0	2090	254	10,73	0,997	2,726
69	1942	2230	0	2230	272	11,18	1,008	2,821
70	1943	2290	0	2290	280	11,63	1,019	2,916

Contributo di Piena (l/secxKmq)



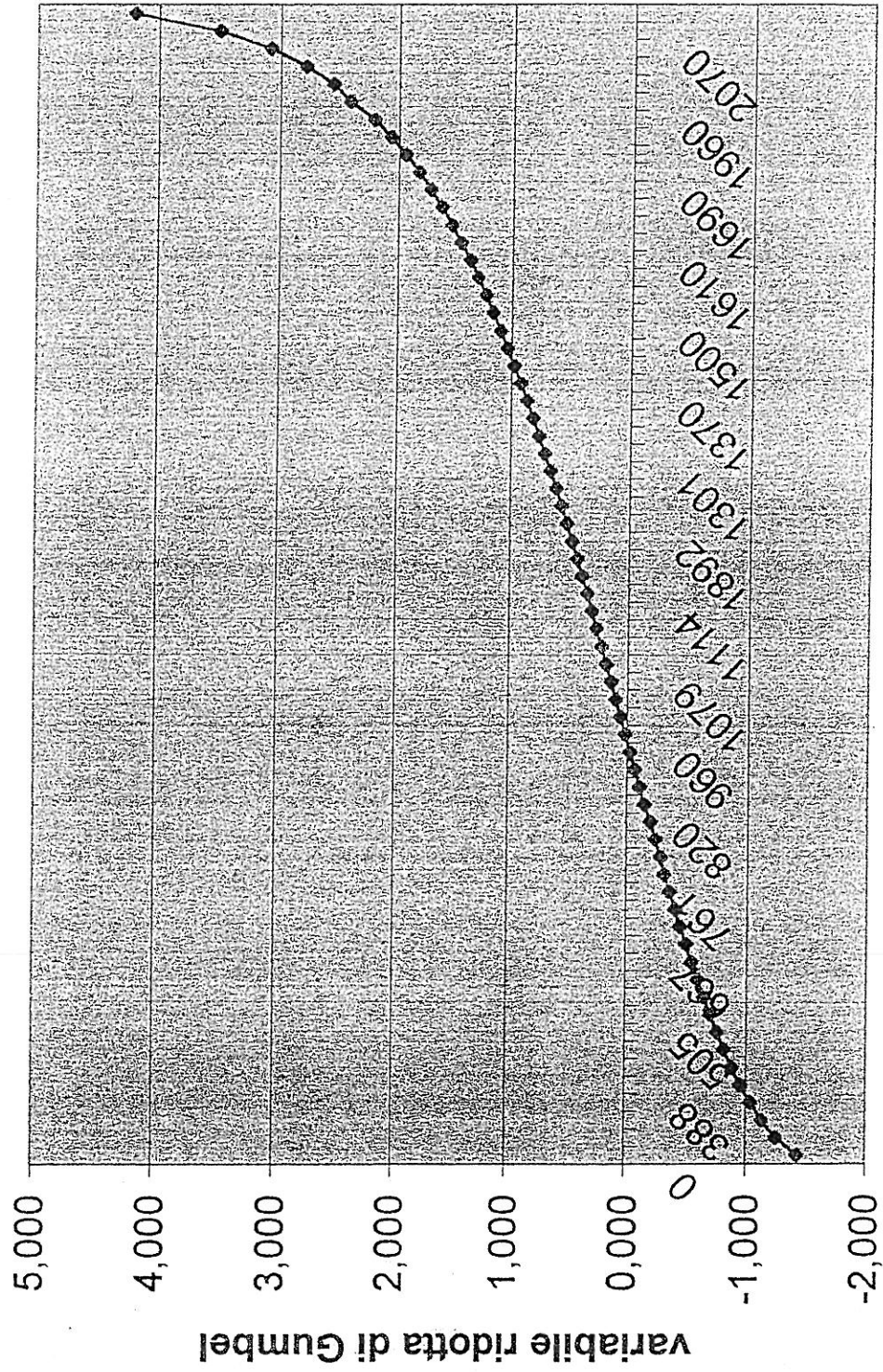
◆ Contributo di Piena (l/secxKmq)

Portata Totale (m3/sec)



Anni di osservazione

Variabile ridotta y



—◆— Variabile ridotta y

Portata al colmo mc/s

3.2 Tracciamento del Profilo di Rigurgito relativo alla portata centennale

A questo punto, possiamo passare al tracciamento del profilo del pelo libero dell'Arno nel tronco di nostro interesse che va dalla sezione N. 212 (S. G. alla Vena) dove e' noto l'andamento degli stati d'acqua durante la piena centennale, verso valle fino alla sezione 112, considerando che la sezione corrispondente all'area di progetto e' compresa tra la sezione 112 e la sezione 129.

La geometria delle sezioni e' stata estratta dai dati grafici forniti dall'Autorità di Bacino. Le sezioni comprese tra 129 e 112, che interessano l'area in esame, sono riportate in appendice 3.

Gli stati d'acqua sono calcolati mediante il *modello Profili.for* descritto in appendice B. Tale modello integra le equazioni del moto gradualmente variato di una corrente prismatica a pelo libero in alveo di sezione generica , anche composita.

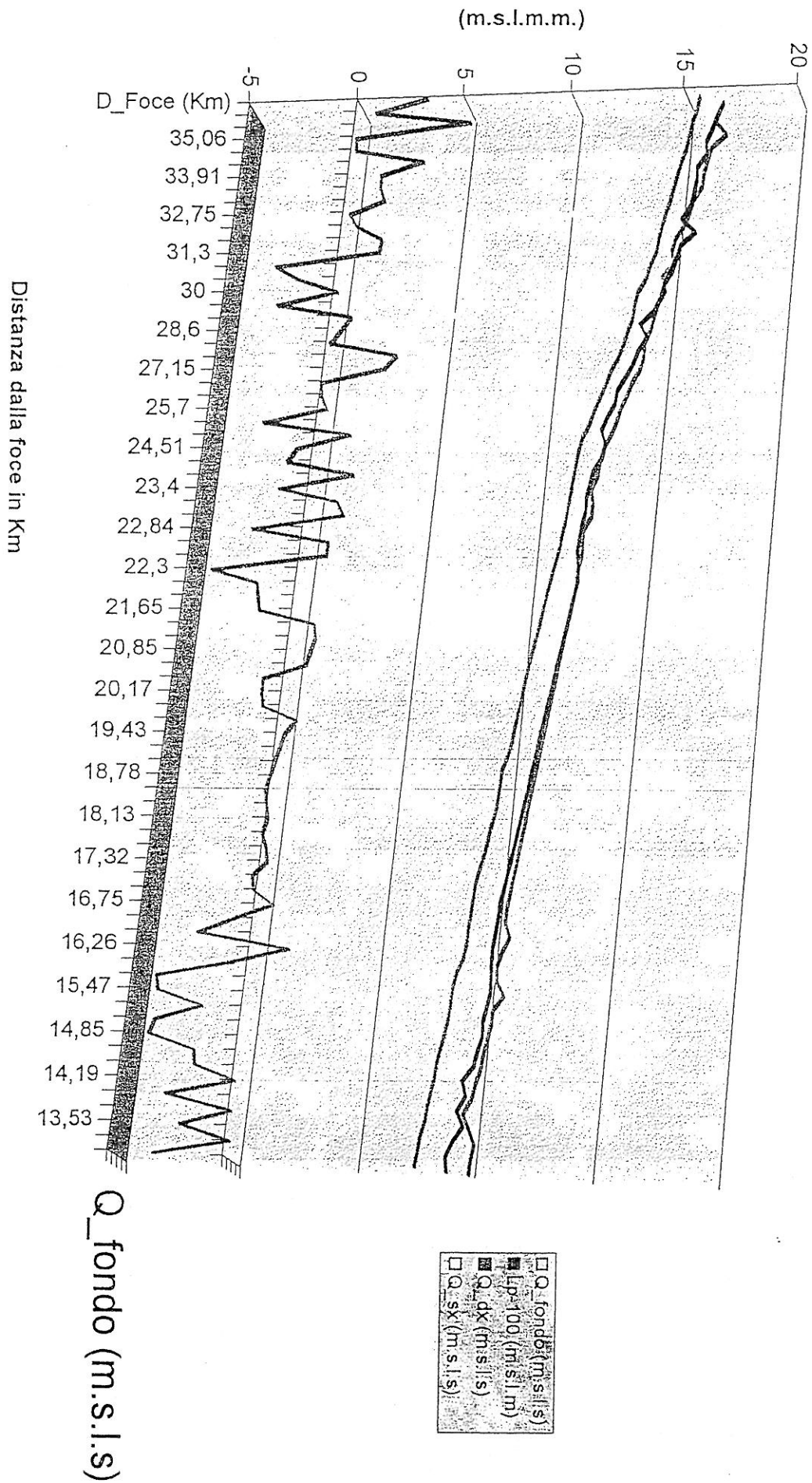
Il metodo di integrazione utilizza uno schema alle differenze finite basato sull'algoritmo di Runge e Kutta del quarto ordine. I risultati sono riportati nella tabella 7 e nei grafici 4 e 5.

Come si può vedere, la quota del pelo libero durante la piena centennale si mantiene costantemente al di sotto delle quote degli argini, escludendo qualsiasi possibilità di esondazione sull'intero tronco considerato ed in particolare quello prospiciente l'area di intervento.

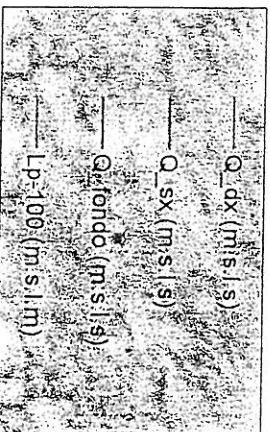
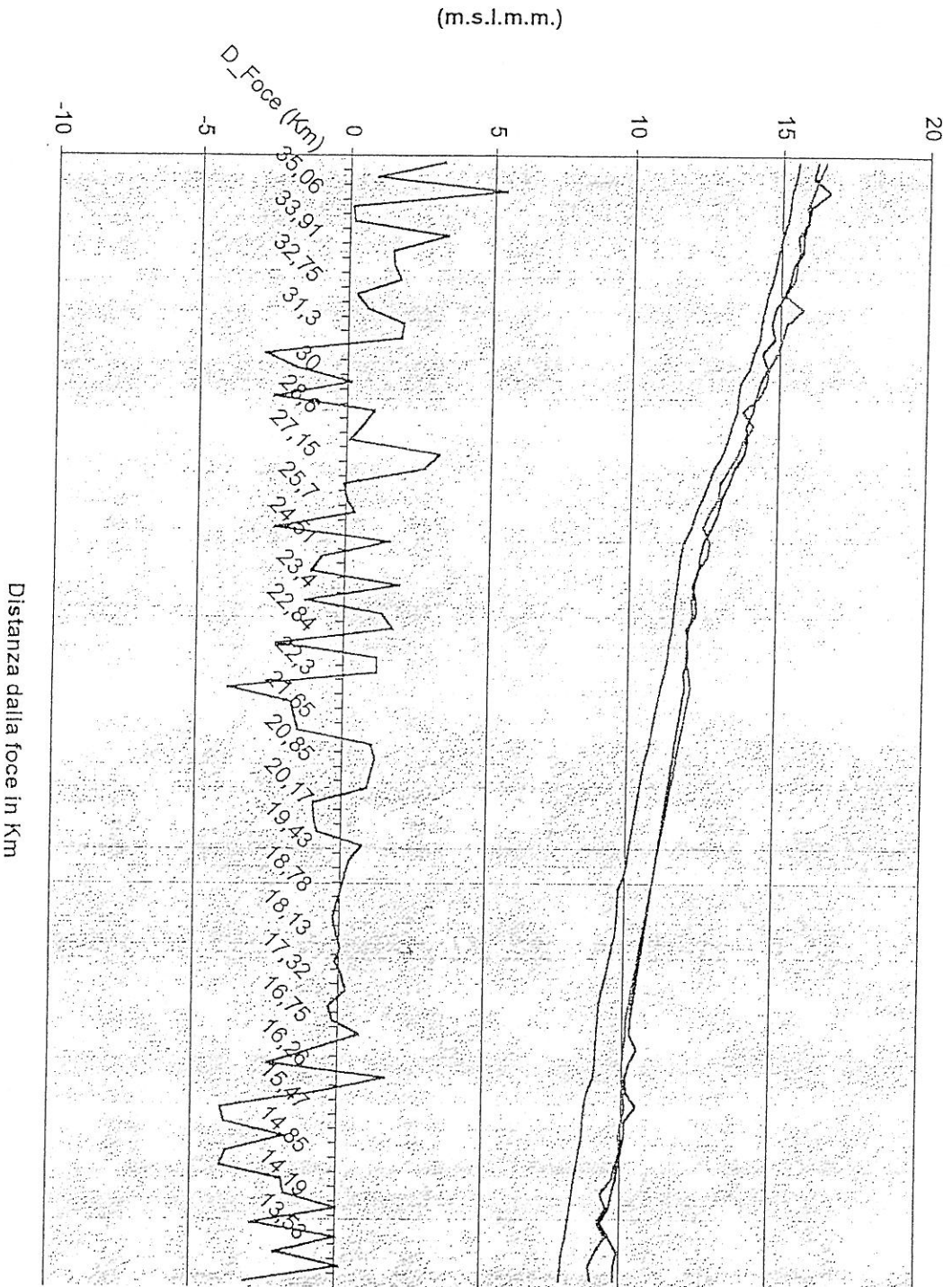
Profilo del Fiume Arno tra S. Giovanni alla Vena e Pisa

Sezione N.	D. Foco (Km)	D. Parallelo (m)	Q. dx (m.s.l.s.)	Q. sx (m.s.l.s.)	Q. fondo (m.s.l.s.)	Q ₁₀₀ (m.s.l.s.)	L ₁₀₀ (m.s.l.s.)	c	A (m ²)	R (m)	U (m/s)	U/2g (m)	I ₁ (m/Km)	Y _{max} (m)	E (m)
212	35.81	0	18.45	16.17	1.23	2000	15.22	30	1118	9.38	1.79	0.16	0.1977	17.29	12.45
209	35.44	370	16.72	15.06	0.78	2000	15.20	30	1238	7.84	1.62	0.13	0.4187	14.56	14.10
207	35.06	380	16.06	16.59	0.58	2000	15.15	30	1238	7.84	1.62	0.13	0.4187	14.56	14.10
205	34.8	280	15.85	15.97	0.1	2000	15.24	18	1570	1.83	0.17	0.2255	9.91	10.09	10.09
204	34.4	400	15.92	15.85	0.16	2000	15.16	20	1200	10.18	1.63	0.08	0.2500	15.14	15.22
203	33.88	500	15.55	15.71	3.38	2000	15.01	16	1336	9.47	1.51	0.12	0.3271	15.00	15.14
200	33.72	480	15.72	15.71	1.49	2000	14.90	15	918	9.31	2.13	0.21	0.1584	13.14	11.71
198	32.75	450	15.44	15.28	1.53	2000	14.81	10	1354	10.22	1.48	0.11	0.2158	13.78	13.98
196	32.39	500	15.1	15.1	0.25	2000	14.70	10	1293	9.96	1.55	0.12	0.1350	12.93	13.05
195	31.95	510	15.74	14.8	0.69	2000	14.41	10	1213	10.37	1.61	0.13	0.1910	14.79	14.42
191	31.3	560	15.08	14.81	0.1	2000	14.41	10	1213	10.37	1.61	0.13	0.1910	14.79	14.42
189	30.31	600	14.65	14.41	0.12	2000	14.34	25	1505	10.18	1.76	0.18	0.1833	13.78	13.66
187	30.1	310	14.65	14.41	0.12	2000	14.34	25	1505	10.18	1.76	0.18	0.1833	13.78	13.66
186	29.55	450	14.53	14.33	0.11	2000	14.31	20	1665	10.45	1.68	0.21	0.1855	16.91	17.18
184	29.17	280	14.31	14.19	0.9	2000	14.40	25	1193	9.65	1.83	0.17	0.1756	15.13	16.08
182	28.6	870	13.78	13.88	0.29	2000	13.40	25	1193	9.65	1.83	0.17	0.1756	15.13	16.08
181	28.1	500	14.12	13.88	0.29	2000	13.40	25	1193	9.65	1.83	0.17	0.1756	15.13	16.08
180	27.42	370	13.8	13.82	0.1	2000	13.27	18	1091	9.65	1.83	0.17	0.1756	15.13	16.08
177	27.15	370	13.8	13.82	0.1	2000	13.27	18	1091	9.65	1.83	0.17	0.1756	15.13	16.08
175	26.0	550	13.57	13.81	0.2	2000	13.08	27	860	7.81	2.13	0.28	0.1754	9.48	13.14
172	25.7	480	13.1	13.14	0.3	2000	12.82	25	1014	8.22	1.97	0.20	0.1754	10.14	10.14
168	25.28	420	12.71	12.99	0.3	2000	12.65	23	966	9.19	2.07	0.22	0.1495	12.13	12.75
166	24.95	330	12.51	12.79	-0.2	2000	12.25	22	847	9.05	2.11	0.23	0.1890	12.48	12.69
165	24.55	400	12.73	12.53	1.5	2000	12.10	21	774	8.87	2.12	0.23	0.4820	11.55	12.18
163	24.15	400	12.68	12.41	-0.8	2000	11.85	30	1054	8.31	2.50	0.32	0.5788	15.27	14.84
162	23.12	390	12.68	12.41	-0.8	2000	11.85	30	1054	8.31	2.50	0.32	0.5788	15.27	14.84
160	23.14	350	12.32	12.17	-1.15	2000	11.69	27	1270	9.80	1.64	0.14	0.1756	15.41	17.71
159	23.2	200	12.44	12.36	1.31	2000	11.63	25	1181	8.23	1.69	0.15	0.2158	9.76	9.78
158	23.1	200	12.18	12.3	1.29	2000	11.54	25	1181	8.23	1.69	0.15	0.2158	9.76	9.78
157	22.84	190	12.06	11.99	1.65	2000	11.49	20	1177	8.45	1.76	0.16	0.2813	10.75	10.40
155	22.85	190	12.01	12.03	-2.3	2000	11.40	20	1178	10.01	1.77	0.16	0.4164	9.84	10.00
154	22.4	180	11.88	12.04	1.3	2000	11.35	18	1185	8.50	1.69	0.15	0.5213	13.70	13.82
153	22.1	200	12.14	11.82	1.72	2000	11.25	22	922	9.07	2.17	0.21	0.6068	10.11	10.25
152	21.86	240	12.05	11.87	-1.76	2000	11.13	25	871	9.41	2.29	0.21	0.4217	15.65	15.32
151	21.65	210	11.96	11.79	-1.66	2000	10.84	25	817	8.84	2.29	0.21	0.4536	12.82	13.09
150	21.43	220	11.88	11.72	-1.53	2000	10.85	25	817	8.84	2.29	0.21	0.4536	12.82	13.09
149	21.1	220	11.88	11.72	-1.53	2000	10.85	25	817	8.84	2.29	0.21	0.4536	12.82	13.09
148	20.85	260	11.71	11.65	0.87	2000	10.71	25	911	7.91	2.11	0.34	0.3762	12.38	13.25
147	20.62	230	11.61	11.56	0.7	2000	10.64	25	961	7.84	2.08	0.27	0.4130	9.27	10.03
146	20.31	250	11.52	11.43	0.84	2000	10.54	25	1052	7.97	1.90	0.18	0.3679	5.61	6.81
145	20.17	260	11.44	11.36	-0.97	2000	10.36	25	999	7.82	2.00	0.20	0.4080	5.61	6.81
144	19.91	260	11.35	11.28	-0.97	2000	10.30	30	963	8.56	2.18	0.16	0.7665	11.31	11.49
143	19.81	260	11.35	11.28	-0.97	2000	10.30	30	963	8.56	2.18	0.16	0.7665	11.31	11.49
142	19.43	210	11.29	11.21	-0.877	2000	10.11	30	819	8.28	2.18	0.20	0.3183	11.25	11.50
141	19.24	180	11.08	11.06	0.74	2000	10.09	40	611	7.15	2.12	0.31	0.1820	9.14	9.13
140	18.96	280	11.00	10.99	0.14	2000	9.91	35	882	7.84	2.22	0.26	0.3673	9.80	10.06
138	18.78	180	10.91	10.92	0.01	2000	9.75	35	1184	8.30	1.65	0.11	0.2073	9.76	9.97
137	18.37	210	10.82	10.85	-0.12	2000	9.68	40	1097	9.25	1.87	0.17	0.4326	9.87	10.01
136	18.13	250	10.84	10.83	0.1	2000	9.68	40	626	7.26	3.00	0.46	0.3934	9.80	10.26
135	17.82	310	10.58	10.55	-0.31	2000	9.72	35	626	7.26	3.00	0.46	0.3934	9.80	10.26
134	17.56	260	10.47	10.55	-0.31	2000	9.72	35	626	7.26	3.00	0.46	0.3934	9.80	10.26
133	17.32	240	10.38	10.48	0.09	2000	9.71	40	718	7.18	2.79	0.40	0.3392	9.55	9.64
132	17.02	300	10.29	10.41	0.22	2000	9.74	40	613	7.30	2.97	0.45	0.3391	9.61	10.60
130	16.78	140	10.20	10.33	-0.35	2000	9.15	40	541	6.11	3.08	0.48	0.4326	9.24	9.77
130	16.78	140	10.20	10.33	-0.35	2000	9.15	40	541	6.11	3.08	0.48	0.4326	9.24	9.77
129	16.53	220	10.17	10.26	-0.22	2000	9.11	40	1076	7.81	1.65	0.19	0.3523	9.50	9.95
128	16.32	210	10.05	10.27	0.6	2000	9.09	40	1076	7.81	1.65	0.19	0.3523	9.50	9.95
127	16.26	60	10	10.25	-0.4	2000	9.05	40	1191	7.97	1.68	0.14	0.1102	9.55	10.09
126	15.89	370	10	10.1	1.6	2000	8.97	35	915	8.01	2.18	0.24	0.1062	11.44	11.63
125	15.69	260	10.05	10.15	-0.8	2000	8.75	30	861	7.18	2.47	0.31	0.1371	7.37	7.68
124	15.47	270	10.1	10.5	-4	2000	8.16	35	1266	9.81	1.43	0.28	0.3272	9.55	9.81
123	15.26	300	10	10.1	-3.85	2000	8.67	25	1372	9.80	1.68	0.11	0.4291	12.66	12.79
122	15.08	300	10	10.1	-3.85	2000	8.67	25	1372	9.80	1.68	0.11	0.4291	12.66	12.79
121	14.85	210	9.85	10.1	-1.8	2000	8.59	25	915	8.21	2.14	0.23	0.4417	10.32	10.51
120	14.67	210	9.8	9.8	-1.8	2000	8.50	25	644	9.09	2.01	0.21	0.4187	12.30	12.51
119	14.39	230	9.7	9.85	-1.8	2000	8.47	25	863	8.82	2.30	0.27	0.4647	12.47	12.61
118	14.19	200	9.3	9.7	-1.8	2000	8.26	25	775	8.54	1.63	0.14	0.2441	10.21	10.35
117	13.97	220	9.5	9.8	0	2000	8.18	25	1053	7.11	1.98	0.20	0.3840	10.66	10.56
116	13.77	220	9.2	9.3	-2.9	2000	8.09	25	1209	8.84	1.65	0.18	0.4114	5.18	8.56
115	13.53	230	8.42	8.6	0	2000	8.04	25	924	6.92	2.16	0.24	0.4673	10.22	11.11
114	13.3	230	8.15	8.8	-2.1	2000	7.91	25	1501	8.67	1.33	0.09	0.1594	10.01	10.71
113	13.07	230	8.15	8.8	-2.1	2000	7.91	25	1501	8.67	1.33	0.09	0.1594	10.01	10.71
112	12.88	100	8	8.8	-3.1	2000	7.80	25	1090	8.72	1.81	0.17	0.3403	10.50	11.07

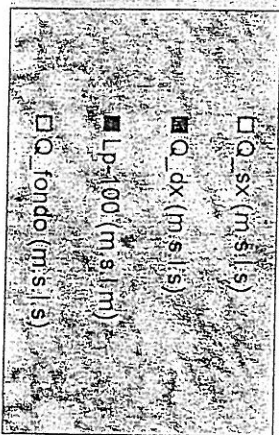
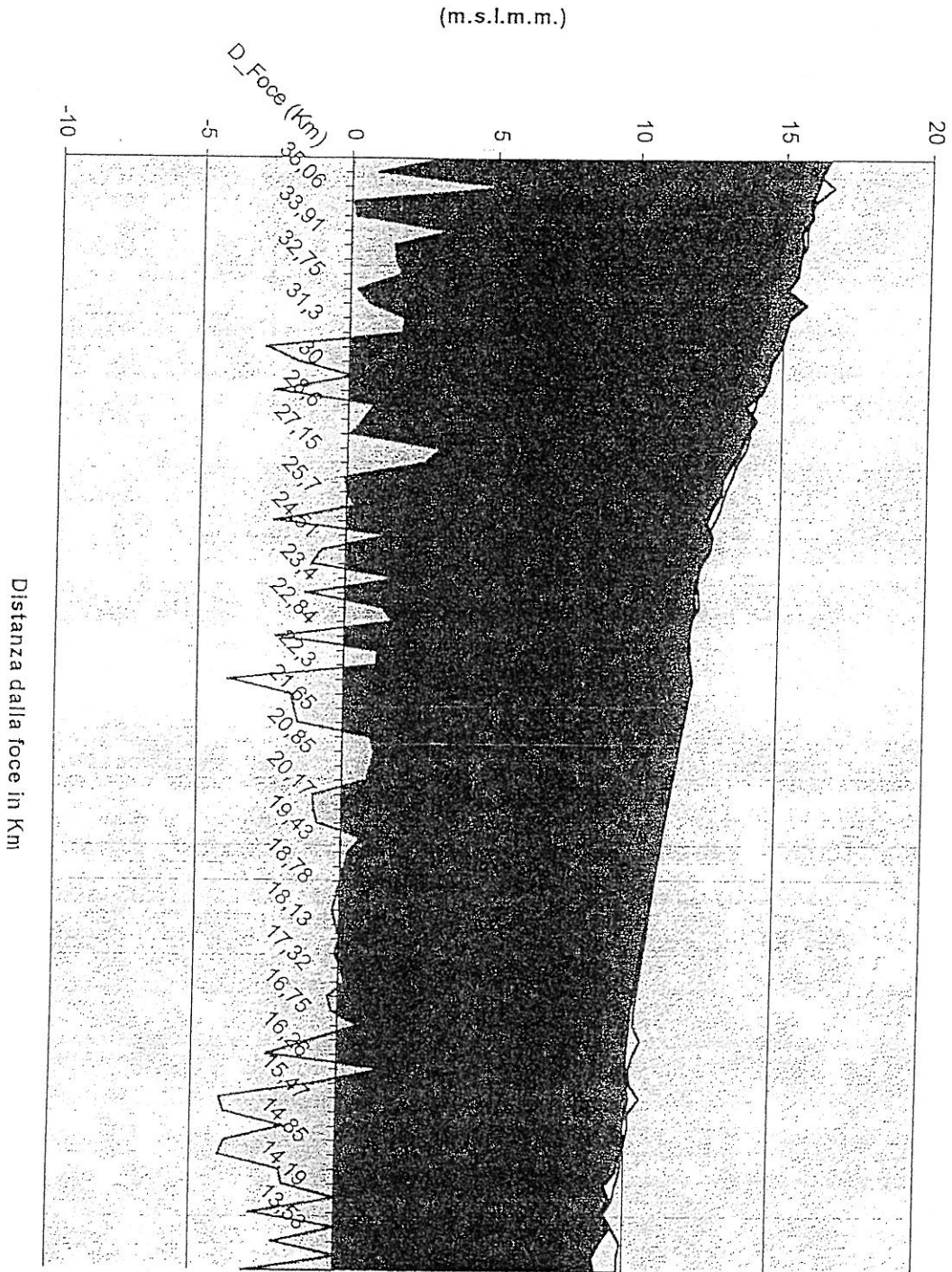
Profilo della piena Q = 2000 mc/s T = 100 anni



Profilo della piena Q = 2000 mc/s T = 100 anni



Profilo della piena Q = 2000 mc/s T = 100 anni



3.3 Analisi dei fenomeni di ristagno locali

Valuteremo, per l'area in esame, gli afflussi con il *Metodo Pagliara-Viti*.

Questo metodo determina, relativamente ai pluviometrografi di competenza della sezione di Pisa del Servizio idrografico e Mareografico di Stato, le leggi di probabilità delle piogge orarie utilizzando il modello probabilistico di Gumbel, e la e la funzione interpolante monomia a tre parametri del tipo:

$$h = at^n T^m \quad (1)$$

tra altezza di pioggia h, durata di pioggia t e tempo di ritorno T, per ogni stazione pluviometrica.

In questo lavoro, vengono forniti, per ogni stazione pluviometrica analizzata, i parametri a, n, m, della relazione 1, e i parametri $1/\alpha$ e ε della distribuzione di Gumbel:

$$P(h) = \exp(-\exp(-\alpha(x - \varepsilon)))$$

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{\sigma(h)}{1,283}$$

$$\varepsilon = x(h) - 0,45\sigma(h)$$

dove $\bar{x}(h)$ e $\sigma(h)$ sono il valore medio e lo scarto quadratico medio di h. La significatività delle curve ottenute è stata verificata dagli autori con test del χ^2 e di Kolmogorov - Smirnov, ed è del 95%.

Tab. n. 7 – Valori ricavati con il metodo Pagliara - Viti

Stazione	log	m	n	1h		3h		6h		12h		24h	
	a			$1/\alpha$	ε	$1/\alpha$	ε	$1/\alpha$	ε	$1/\alpha$	ε	$1/\alpha$	ε
S. Giovanni alla Vena	1,48	0,18	0,24	8,46	24,0	13,3	33,4	14,3	34,9	17,1	47,3	17,3	55,2
				5	1	6	9	7	6	2	6	1	1

Quindi, le relazioni binomie da utilizzare, sono:

$$h = 30,19t^{0,24} T^{0,13}$$

S. Giovanni alla vena

Tab. n. 8 - Curve di possibilità climatica con il metodo Pagliara - Viti

	T = 10 anni	T = 100 anni	T = 200 anni
S. Giovanni alla Vena	$h=45,69t^{0,24}$	$h=68,95t^{0,24}$	$h=78,35t^{0,24}$

Queste curve rappresentano solo la relazione tra volume di pioggia caduto e durata dello scroscio, ma non danno nessuna indicazione circa la variabilità temporale della pioggia durante l'evento ne' tantomeno della variabilità spaziale sul bacino.

Tutti i metodi di trasformazione afflussi – deflussi di tipo empirico utilizzano l'ipotesi che tale variabilità temporale non ci sia, cioè che lo scroscio abbia intensità uniforme per tutta la sua durata. In realtà l'intensità varia durante l'evento in modo casuale e quindi occorrerebbe avere una distribuzione di probabilità della realizzazione di una data forma di ietogramma di progetto. Nella pratica progettuale si ovvia a questa notevole difficoltà utilizzando ietogrammi sintetici che introducono in modo cautelativo la variabilità dello scroscio, oppure si utilizza l'ipotesi di ietogramma uniforme, che però specie per piccoli bacini può non risultare cautelativa.

Per gli scopi di questo lavoro, sarà sufficiente utilizzare lo ietogramma uniforme, al fine di valutare un volume di afflusso critico ed un ordine di grandezza dei deflussi che questo può determinare. Tali deflussi dovranno essere poi assunti come base per il calcolo delle opere di fognatura principali della zona.

Per i calcoli delle fognature è sufficiente fare riferimento a tempi di ritorno di 10 anni. L'area dove è ubicato l'intervento ha una superficie totale di 130 ha totalmente pianeggiante.

Per il calcolo del tempo di accesso alla rete di scolo naturale dell'area useremo la formula di Puglisi, che meglio si adatta a bacini di natura pianeggiante.

$$t_c = 6 * L^{0,67} * H^{-0,333} \quad (\text{ore}) \quad L \text{ in (Km) e } H \text{ in (m)}$$

$$t_c = 3,28 \text{ ore}$$

Avremo quindi una pioggia critica decennale di 61 mm con una intensità di 19 mm/h. Utilizzando la formula sintetica del classico metodo della corrivazione lineare:

$$Q = i_p * \varphi A / 360 \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

e assumendo $\varphi = 0,56$

si ottiene una portata al colmo:

$$Q = 3,84 \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

della quale occorrerà tenere di conto nel dimensionamento delle fognature della zona.

Utilizzando invece $T = 100$ anni, si ottiene una pioggia critica di 92 mm, con una intensità di 28 mm/h, quindi:

$$Q = 5,66 \text{ l/s} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

4 - Conclusioni

Dall'analisi idrologica e idraulica dell'area oggetto di intervento non risultano rischi di alluvione connessi alle esondazioni dell'Arno per piene con tempo di ritorno di 100 anni.

La portata del fiume a tale livello di rischio e' risultata essere di 2962 mc/s, dei quali pero' circa 1000 mc/s possono essere convogliati nello scolmatore. Il profilo della piena residua di circa 2000 mc/s, valutato in moto gradualmente variato tra S. Giovanni alla Vena e Pisa, rimane costantemente al di sotto della quota dei due argini maestri del fiume.

Per ciò che riguarda i piccoli ristagni che si possono verificare nella zona, si e' solo potuto valutare la pioggia critica per l'area e la relativa portata che deve essere smaltita dal sistema di drenaggio che verra' previsto nella successiva urbanizzazione. Tale portata, per T = 10 anni, e' risultata essere di 3,84 mc/s, mentre per T= 100 anni avremo 5,66 mc/s.

Dott. Ing. CARLO CALASTRI
ALBO DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI PISA N. 1019

Appendice A

*Analisi idrologiche. Descrizione del programma Fortran
Ev1.FOR*

APPENDICE A - Analisi stocastica dei valori estremi di serie temporali

Idrologia Statistica

Gli eventi idrologici ed idrografici, quali piogge di determinata durata, altezze idrometriche di un corso d'acqua in una data sezione, portate al colmo di un corso d'acqua in una data sezione, sono il risultato di un numero elevatissimo di cause più o meno dipendenti tra loro :

- distribuzione spazio - temporale degli afflussi nel bacino imbrifero
- estensione e orografia del bacino imbrifero
- permeabilità, uso e assetto del suolo
- copertura vegetale
- invasi superficiali e sotterranei presenti
- distribuzione delle temperature
- pendenza e geometria del bacino imbrifero
- Ecc.

Questi fattori geometrici e fisici hanno distribuzioni spaziali complesse ed inoltre dipendono dal tempo, pertanto lo studio fenomenologico, di tipo deterministico, della formazione e propagazione dei deflussi in un bacino comporta la scrittura di sistemi di equazioni differenziali alle derivate parziali molto complicati e fortemente non lineari che risultano difficilmente trattabili dal punto di vista matematico e soprattutto di difficile taratura.

Inoltre, molti dei fenomeni connessi alla propagazione dei deflussi come l'infiltrazione della pioggia nel suolo o l'assorbimento da parte delle piante dell'acqua ipodermica non sono ben conosciuti neppure fisicamente e questo rende l'approccio fenomenologico ancora più incerto ed applicabile solo a bacini sperimentali molto semplificati, mentre un tale approccio deterministico a bacini reali risulta di fatto improponibile.

Un approccio moderno allo studio di questi fenomeni, com'è noto, è ormai di tipo probabilistico. Si tratta in definitiva di interpretare, introducendo delle opportune funzioni di distribuzione degli eventi considerati, i dati di un numero sufficiente di osservazioni estrapolandone i risultati oltre il limite stesso del campione.

Naturalmente, per l'applicabilità dei metodi dell'idrologia statistica, è necessario presupporre che il sistema dinamico studiato sia markoviano, cioè i singoli eventi siano scorrelati tra loro.

Per la stima degli afflussi, in Italia, grazie al Servizio Idrografico e Mareografico di Stato, sono disponibili numerose serie storiche di piogge divise per durate e di temperature, che possono essere trattate con metodi stocastici e ottenere stime attendibili delle piogge critiche puntuali.

Più difficile è invece la stima del pluviogramma di progetto, cioè la distribuzione temporale delle piogge che specie nei piccoli bacini rappresenta un elemento determinante nel processo di trasformazione afflussi-deflussi. La variazione dell'intensità di pioggia durante uno scroscio è del tutto casuale ed andrebbe studiata con metodi statistici per individuare il valore della probabilità da associare ad una data forma di ietogramma, e questo comporterebbe una campagna di misure pluviometriche lunga e costosa.

Per ovviare a questo inconveniente sono disponibili in letteratura vari ietogrammi sintetici che introducono una variabilità temporale nel pluviogramma che da luogo a risultati che si possono ritenere cautelativi (è noto infatti che l'ipotesi di pioggia uniforme porta ad una sotto stima del valore di picco delle portate).

Queste procedure forniscono piogge sintetiche con determinati tempi di ritorno e sono procedure di tipo numerico che necessitano della messa a punto di programmi specifici di cui non disponiamo, pertanto l'ipotesi che verrà adottata in questo lavoro sarà quella di ietogramma uniforme con la consapevolezza che le portate calcolate potranno risultare sotto stimate e quindi occorrerà mantenere elevato il coefficiente di sicurezza da introdurre nei calcoli.

Accertata dunque la validità dell'impiego di tale ipotesi e quindi dell'uso dei metodi statistici conseguenti per il nostro studio, diciamo subito che tali metodi forniscono i valori estremi della variabile analizzata (altezza di pioggia, altezza idrometrica, portata al colmo) in funzione del cosiddetto **Tempo di Ritorno** T_R , definito come la durata media, in anni, del periodo in cui il valore assegnato x della variabile idrologica viene superato una sola volta, il quale a sua volta è legato alla **Probabilità di superamento** $P(x)$, dalla relazione :

$$P(X > x) = \frac{1}{T_R}$$

Mentre la **probabilità di non superamento** $\phi(x)$ del valore x è ovviamente :

$$\phi(X < x) = 1 - P(X > x) = 1 - 1/T_r$$

La $\phi(X < x)$ è detta anche durata probabile del valore di x e rappresenta la probabilità che si verifichi un valore della grandezza idrologica minore od uguale ad x .

La teoria dei processi stocastici quindi consente di definire quantitativamente il rischio idraulico in termini di probabilità di insuccesso, su un prefissato lasso di tempo, dell'opera in progetto, usando come indicatore di rischio il tempo di ritorno, durata media in anni del periodo in cui il valore assegnato X della variabile viene superato una sola volta, che è legato alla $\phi(X) = \phi(x \leq X)$ dalla:

$$\phi(X \leq x) = 1 - \frac{1}{T_r}$$

Tenuto presente che l'estrapolazione a tempi di ritorno elevati porta a valutazioni spesso prive di significato, ricordiamo che, tradizionalmente, le fognature vengono dimensionate con $T = 10 + 20$ anni, gli argini fluviali con $T = 100 + 1000$ anni e le opere di sfioro da dighe con $T = 1000 + 10000$ anni.

L'elaborazione statistica dei dati di un campione ha lo scopo di delineare i caratteri statistici della popolazione della variabile idrologica corrispondente: descrittori sintetici di questi caratteri sono i parametri (momenti e cumulanti) della distribuzione di probabilità, i frattili e l'istogramma di frequenza. La più completa sintesi statistica dell'informazione idrologica si ottiene deducendo dal campione la forma della funzione di distribuzione (o ripartizione) di probabilità (FDP) della variabile.

Le stime dei parametri statistici di una popolazione, noti i valori X_1, \dots, X_N di un campione di dimensione N sufficientemente grande, sono:

- per la *media*, valore attorno al quale tende a distribuirsi la variabile:

$$\mu = \bar{X} = \sum_{i=1}^N i \frac{x_i}{N}$$

- per lo scarto quadratico medio (s.q.m.), indice della dispersione della variabile intorno al valore centrale:

$$\sigma = s = \left[\sum_{i=1}^N i \frac{(x_i - \bar{x})^2}{N-1} \right]^{1/2}$$

essendo $c_v = s / \bar{X}$ il coefficiente di variazione;

- per il *coefficiente di asimmetria*, positivo per FDP con code che si protraggono a destra:

$$CAS = \gamma_1 = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \frac{\sum_{i=1}^N i (x_i - \bar{x})^3}{s^3}$$

con s dato dalla formula precedente;

- per il *coefficiente di correlazione*, indice della forza del legame lineare tra le due componenti (X , Y) di una distribuzione bidimensionale:

$$\rho = r = \frac{s_{XY}}{s_X s_Y} \quad -1 \leq r \leq 1.$$

con la *covarianza* definita da:

$$\sigma_{XY} = s_{XY} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N i (x_i - \bar{x})(Y_i - \bar{Y})$$

I parametri così stimati sono anch'essi delle variabili casuali con momenti legati a quelli della popolazione della quale il campione (di valori tra loro indipendenti) è tratto. Dalle espressioni dei momenti di \bar{X} ed s (la quarta, tra le espressioni seguenti, vale solo per variabili distribuite normalmente):

$$E(\bar{X}) = \mu, \quad \text{var}(\bar{X}) = \frac{\sigma^2}{N}, \quad E(s^2) = \sigma^2, \quad \text{var}(s^2) = \frac{2(N-1)}{N^2} \sigma^4$$

si rileva che la stima è tanto più efficiente quanto più basso l'ordine del parametro stimato. Non è quindi consigliabile dedurre da piccoli campioni, con $N < 30$, delle FDP con più di 2 parametri.

La distribuzione di probabilità di una variabile casuale è completamente definita quando, scelta la legge teorica, ne siano determinati i parametri: nelle elaborazioni pratiche è abituale stimare i parametri col *metodo dei momenti*, più semplice e più rapido del *metodo di massima verosimiglianza*.

Solo quando $|\gamma_1| < 0,1$ e $C_v < 0,2$ si può sperare che la distribuzione di probabilità di una variabile casuale sia ben interpretata dalla *FDP normale (o di GAUSS)* $N(\mu, \sigma)$, la quale avendo campo di validità $(-\infty, +\infty)$, mal si adatta a grandezze sempre positive. La sua espressione canonica è:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-v^2 / 2) dv$$

avendo definito la variabile ridotta con:

$$v = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

La *FDP lognormale (o di GALTON)* gode di largo favore nella rappresentazione statistica di variabile idrologiche sia per i valori correnti che per i valori estremi, in quanto è limitata al solo campo positivo ed è asimmetrica. Detta:

$$v = \frac{\ln x - \mu_L}{\sigma_L}$$

la variabile ridotta, la legge di distribuzione $LN(\mu_L, \sigma_L)$ è data dalla espressione canonica precedente. Da media e s.q.m. del campione si stimano:

$$\sigma_L^2 = \ln(C_v^2 + 1); \quad \mu_L = \ln \bar{X} - 0,5\sigma_L^2.$$

Quando M è sufficientemente grande, la distribuzione del massimo tra M valori della variabile casuale, come p. es. il massimo annuo di portata giornaliera, segue la cosiddetta *prima legge asintotica del massimo valore (o di GUMBEL)*.

$$P(x) = \exp\{-\exp[-\alpha(x-u)]\}; \quad -\infty < x < +\infty$$

con $v = \alpha(x-u)$ variabile ridotta; i parametri sono dati da:

$$\alpha = \frac{1,285}{s}, \quad \hat{u} = \bar{X} - 0,450s.$$

L'asimmetria della distribuzione è fissa: $\gamma_1 = 1,1396$.

Simmetricamente per la distribuzione del minimo valore tra M valori, si definisce la *prima legge asintotica del minimo valore (o di Gumbel)* il cui parametro α è stimato con la prima delle formule precedenti mentre $\hat{u} = \bar{X} + 0,45s$:

$$P(x) = 1 - \exp\{-\exp[-\alpha(x-u)]\}; \quad -\infty < x < +\infty$$

La seconda legge asintotica del massimo valore (o di FRECHET) ha il vantaggio, rispetto alla precedente, di essere limitata a valori positivi della variabile:

$$P_{(x)} = \exp\left[-\left(\frac{u}{x}\right)^k\right]$$

Il calcolo dei parametri è invece più oneroso. Dall'applicazione del metodo dei momenti risulta:

$$\bar{X} = \hat{u}\Gamma(1 - 1/\hat{k}), \quad k > 1; \quad C_v^2 = \frac{\Gamma(1 + 2/\hat{k})}{\Gamma^2(1 - 1/\hat{k})} - 1, \quad k > 2$$

La terza legge asintotica (o di WEIBULL) a tre parametri, con limite inferiore diverso da zero, è usualmente rivolta allo studio dei valori minimi: la stima dei parametri risulta in questo caso piuttosto laboriosa. Nel caso che si ponga uguale a zero il limite inferiore, le cose si semplificano:

$$P_{(x)} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{u}{x}\right)^k\right]; x \geq 0$$

$$\hat{X} = \hat{u}\Gamma(1+1/\hat{k}); C_v^2 = \frac{\Gamma(1+2/\hat{k})}{\Gamma^2(1-1/\hat{k})} - 1,$$

Poichè il logaritmo di una variabile distribuita secondo la legge di Weibull o la legge di Fréchet ha una FDP di Gumbel, queste leggi prendono talvolta il nome di Log-gumbel.

Di diffuso impiego per l'analisi delle piene è anche la FDP esponenziale traslata conosciuta nella pratica con la forma proposta da FULLER, che fa comparire esplicitamente il tempo di ritorno:

$$x = X_0(1 + \beta \ln T)$$

La legge è definita per $x \geq X_0$, valore con tempo di ritorno annuo. I parametri sono stimati con:

$$\bar{X}_0 = \bar{X} - s; \quad \beta = \frac{s}{\bar{X}_0}$$

Anche in questo caso l'asimmetria è fissa: $\gamma_1 = 2$.

In particolari casi si utilizzano anche la distribuzione Beta (che ha il vantaggio di essere limitata inferiormente e superiormente), le distribuzioni troncate.

Usualmente, la scelta, tra tutti i modelli statistici suddetti, è operata valutando quello la cui FDP meglio si adatta alla distribuzione dei dati del campione. Il confronto grafico su carta probabilistica tra la curva delle frequenze cumulate dei dati e quelle delle probabilità calcolate con leggi teoriche dà una indicazione molto efficace della bontà dell'adattamento globale, segnalando altresì le zone di discrepanza. Ciascuna legge di distribuzione teorica viene rappresentata sulla propria carta probabilistica con una retta; sulle ascisse della carta probabilistica è riportata la grandezza casuale in scala lineare, ad eccezione della FDP lognormale, mentre sulle ordinate è riportata la grandezza casuale, in scala lineare, la variabile ridotta; la graduazione della probabilità che a questa corrisponde risulta così in scala deformata.

Le coordinate (X, F) dei vertici (*plotting points*) della poligonale delle frequenze cumulate si ottengono assegnando ai dati del campione, disposti in ordine crescente, la frequenza (di non superamento) secondo l'espressione proposta da Weibull:

$$F(X_i) = \frac{i}{N+1}$$

essendo i il numero d'ordine del dato.

Tra i test di adattamento, che controllano se la distribuzione di frequenza dei dati devia in maniera statisticamente significativa dalle previsioni del modello teorico, il più comune è il *test del χ^2 proposto da PEARSON*, che misura lo scostamento tra l'istogramma empirico e quello teorico della variabile casuale: suddiviso il campo della variabile in un numero finito K di classi, in ciascuna delle quali la variabile abbia, in base alla legge teorica in esame, probabilità p_i ($i = 1, \dots, K$) di ricadere, si determina per ciascun intervallo il numero N_i di dati del campione che vi ricadono. Allora la statistica:

$$D_1 = \sum_{i=1}^K i \frac{(N_i - Np_i)^2}{Np_i}$$

segue approssimativamente la distribuzione del χ^2 con $f = K - r - 1$ gradi di libertà, essendo r il numero dei parametri della legge stimati dal campione. Individuato il valore critico χ_α^2 ad f gradi di libertà, che corrispondono al prefissato livello di significatività del test (che è al solito $\alpha = 0,10$ o $\alpha = 0,05$), si accetta l'ipotesi che il campione sia tratto da una popolazione avente la FDP esaminata se $D_1 < \chi_\alpha^2$. Nell'esecuzione del test si usa l'accortezza di operare una ripartizione tale che sia $p_i = 1/K$, uguale per tutte le classi, e che $N/K \geq 5$.

Il *test di Kolmogorov - Smimov* considera il massimo scostamento tra la funzione di distribuzione empirica e quella teorica: il test, che vale a rigore solo se i parametri della legge sono indipendenti dal campione, è accettato se risulta $D_2 \leq C$. La statistica D_2 , la cui distribuzione è indipendente da quella della variabile x , è definita da:

$$D_2 = \max_{\{i\}} \left| \frac{i}{n} - P(X_i) \right|$$

mentre il termine di confronto è $C = 1,22/\sqrt{N}$ al livello di significatività $\alpha = 0,10$; $C = 1,36/\sqrt{N}$ per $\alpha = 0,05$: queste ultime relazioni valgono se $N \geq 30$.

Distribuzione Percentile

Per il calcolo delle distribuzioni in frequenza dei dati di un campione e' utile la valutazione del valore percentile p-esimo che avviene dopo aver posto i dati in ordine, per esempio decrescente, con le seguenti operazioni:

a) si divide il numero dei dati per il valore del percentile (espresso in percentuale)

$$K = \frac{N}{p * 100}$$

ottenendo un numero reale positivo

b) si ricava la parte intera e la parte frazionaria di tale numero

$$i = \text{INT}(K)$$

$$f = \text{FRAC}(K) \quad 0 \leq f < 1$$

c) si procede a calcolare il valore desiderato

$$X_i \leq X < X_{i+1}$$

con la relazione

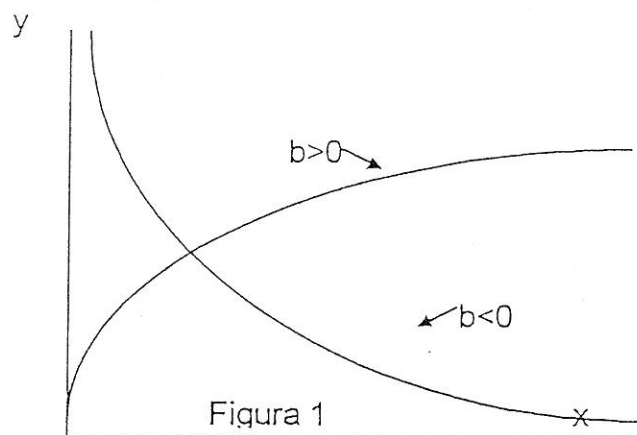
$$x = x_i + f * (X_{i+1} - X_i)$$

Regressione geometrica

Qualora la curva atta a rappresentare i dati sperimentali osservati sia una curva geometrica (detta anche curva di potenza), la relazione che lega la variabile dipendente [y] con la variabile indipendente [x] risulta del tipo seguente:

1

$$y = ax^b$$



L'andamento della curva corrispondente come si può osservare dalla Figura 1 risulta funzione dell'esponente (b):

$b > 0$ curva crescente
 $b < 0$ curva decrescente

Nel caso di ($b < 0$) si ha in pratica una funzione iperbolica con asintoti coincidenti con gli assi cartesiani.

La 1 è una curva interpolante non lineare nei parametri che comunque, attraverso un procedimento di anamorfosi, risulta linearizzabile; passando infatti ai logaritmi si ha:

2 $\log(y) = \log(a) + b \cdot \log(x)$
cioè:

3 $Y = A_0 + A_1 X$

dove:

$$Y = \log(y) \quad X = \log(x) \quad A_0 = \log(a) \quad A_1 = b$$

Pertanto l'esame della curva non lineare 1 è ricondotto all'esame della retta 3; applicando alla 3 il metodo dei minimi quadrati si possono valutare le costanti (A_0) ed (A_1) e quindi le costanti (a) e (b). Si deve comunque sottolineare che la linearizzazione del modello geometrico porta a minimizzare la somma dei quadrati ($\sum E_i^2$) degli scarti seguenti:

$$E_i = \left[\log(a) + b \cdot \log(x_i) - \log(y_i) \right]$$

Quindi gli errori tra dati rilevati e dati calcolati sono in termini logaritmici e non in termini diretti.

La curva di tipo geometrico che lega l'altezza di pioggia (h) alla sua durata (t), o quella analoga della scala di deflusso di un corso d'acqua in una data sezione, è una classica legge empirica formulata in seguito alle osservazioni delle altezze di pioggia o degli stati idrometrici, le quali aumentano con il tempo secondo una funzione di potenza:

$h = at^n$ Curva di possibilità climatica con dato periodo di ritorno

$Q = ah^n$ Scala di deflusso in una data sezione di un corso d'acqua

DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA EV1.FOR

Il programma, calcolati media, scarto quadratico medio e coefficiente di asimmetria di un campione di N valori della grandezza statistica Y , stima col metodo dei momenti i parametri delle leggi di probabilità asintotica del massimo valore (di GUMBEL), lognormale, esponenziale traslata (di FULLER), descritte nei paragrafi precedenti e che usualmente sono impiegate per interpretare le funzioni di ripartizione dei valori estremi.

Il programma dispone in ordine crescente i dati del campione, e per ciascun valore della grandezza calcola la frequenza campionaria e la probabilità cumulata corrispondente a ciascuna delle tre leggi sopra indicate utilizzando la Formula di Weibul.

Per facilitare il confronto delle curve teoriche di probabilità con la distribuzione empirica sono calcolati i valori della variabile ridotta di ogni distribuzione corrispondenti alle frequenze e alle probabilità di cui si è detto: il tracciamento di queste curve su carta probabilistica relativa alla distribuzione risulta così immediato.

Il programma calcola infine, per estrapolazione, con le tre leggi di probabilità di cui si è detto le probabilità di non superamento di alcuni valori della variabile statistica.

Il programma principale chiama 3 subroutines di uso generale:

- STAT per il calcolo dei parametri statistici,
- ORD per l'ordinamento dei dati,
- GAU per il calcolo della probabilità cumulata con la funzione di ripartizione di Gauss.

DESCRIZIONE DELLA STAMPA DI USCITA DEL PROGRAMMA

Il programma scrive in successione dopo il titolo:

- la numerosità del campione;
- i parametri della distribuzione empirica e delle leggi teoriche di probabilità; il coefficiente di asimmetria (CAS) è scritto per completezza di informazione;
- la tabella con il numero d'ordine dei dati, i valori della grandezza disposti in ordine crescente e, per ciascuna delle leggi di probabilità considerate, la probabilità cumulata e la corrispondente variabile ridotta.

Per la distribuzione di FULLER i valori di portata inferiore al limite X_0 non hanno significato e le loro probabilità non sono quindi calcolate.

Nella tabella dei valori estrapolati sono indicati anche i tempi di ritorno, misurati in anni.

Appendice B

*Idraulica del moto permanente gradualmente variato di
correnti
monodimensionali a pelo libero. Descrizione del
Programma Fortran Profili*

APPENDICE I - MODELLO DI CALCOLO DEI PROFILI DI RIGURGITO IN ALVEO PRISMATICO DI SEZIONE GENERICA

Impostazione delle equazioni di base.

Le equazioni generali che descrivono il moto permanente in un canale di sezione generica, variabile, derivano dai principi di conservazione di massa ed energia.

La relazione dell'energia deriva dal teorema di Bernoulli applicato ad un volume unitario di liquido in moto (a patto che il moto sia permanente e le traiettorie delle singole particelle siano sensibilmente parallele, cioè la pressione sia distribuita in maniera idrostatica lungo la sezione)

$$H = y + z + \frac{V^2}{2 * g}$$

in cui, esprimendo tutto in metri:

H energia totale dell'unità di peso di liquido

y profondità della corrente nella sezione

z quota del fondo del canale rispetto ad un piano di riferimento

V velocità media nella sezione

g accelerazione gravitazionale

L'energia totale lungo lo sviluppo del canale varia in modo che differenziando rispetto all'ascissa si ottiene:

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dy}{dx} + \frac{dz}{dx} + \frac{d(V^2 / 2g)}{dx}$$

in cui possiamo distinguere tre termini notevoli:

- la pendenza della linea dell'energia, pari alla perdita di energia per resistenze di attrito distribuite lungo il percorso:

$$\frac{dH}{dx} = -i,$$

- la pendenza del fondo del canale:

$$\frac{dz}{dx} = -i_0$$

Per una assegnata portata Q si può scrivere (FRENCH, 1986) che:

$$\frac{d(V^2 / 2g)}{dx} = \frac{d}{dx} \frac{Q^2}{A^2 * 2 * g} = \frac{Q^2}{2g} * \frac{d}{dA} \left(\frac{1}{A^2} \right) * \frac{dA}{dy} * \frac{dy}{dx} = -\frac{Q^2}{g * A^3} * \frac{dA}{dy} * \frac{dy}{dx} = -Fr^2 * \frac{dy}{dx}$$

ricordando che:

$$\frac{dA}{dy} = T$$

$$\frac{T}{A} = y$$

$$V^2 = \frac{Q^2}{A^2}$$

e sostituendo le relazioni nuove nella espressione generale si ottiene:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{i_o - i_f}{1 - Fr^2}$$

Da tale relazione diventa evidente che, nel caso di moto uniforme in alveo prismatico, non essendovi variazione di profondità, si ottiene che:

$$i_o = i_f$$

La relazione di moto uniforme può essere estesa alle condizioni di moto permanente, gradualmente variato ossia senza brusche alterazioni, con errori considerati trascurabili rispetto, per esempio, alle incertezze insite nella determinazione della scabrezza, utilizzando per esempio la formula di Manning:

$$i_f = \frac{n^2 * V^2}{R^{4/3}}$$

Per tronchi brevi, a cavallo di una sezione, possono essere fatte valere le condizioni di moto uniforme e la pendenza può essere rilevata misurando la pendenza del pelo libero in condizioni di magra.

Integrando l'equazione sopra descritta alle differenze finite, dividendo la tratta in segmenti di 200 - 400 m dove la sezione $A(y)$ può essere considerata costante e quindi l'alveo prismatico, si ottiene il profilo cercato.

L'equazione precedente ammette due soluzioni: una per corrente veloce e una per corrente lenta.

La soluzione da prendere in considerazione risulta determinata dalle condizioni al contorno.

Nel caso si ipotizzi un alveo prismatico di sezione generica, l'equazione di moto permanente valida per alvei cilindrici può essere scritta come segue:

$$(1) \quad \frac{dy}{ds} = \frac{i - J}{1 - Fr^2}$$

con: y = profondità
 s = ascissa corrente
 i = pendenza del fondo
 J = pendenza motrice
 Fr = numero di Froude

e sfruttando la formula delle perdite di carico in regime di moto uniforme:

$$J = \frac{Q^2}{A^2 C^2 R g}$$

con: Q = portata
 A = area sezione
 C = Coefficiente di resistenza
 R = raggio idraulico
 g = accelerazione di gravità

valida per moto uniforme, ma estendendone la validità anche al moto permanente, sezione per sezione, si ottiene:

$$\frac{dy}{ds} = i \frac{1 - \frac{Q^2}{A^2 C^2 R g i}}{1 - \frac{Q^2 b}{g A^3}}$$

con: b = larghezza del pelo libero.

Essendo nel nostro caso:

$$\begin{aligned} A &= A(y) \\ R &= R(y) \\ b &= b(y) \end{aligned}$$

conseguentemente essendo:

$$C = 5,751 \log_{10} \left(\frac{13,3 R f}{\varepsilon} \right) = C(y)$$

con: f = coefficiente di forma
 ε = scabrezza equivalente

la (1) in pratica è della forma:

$$\frac{dy}{ds} = f(y)$$

Il metodo di risoluzione di questa equazione differenziale è di integrarla nella variabile y . Ciò in quanto l'integrazione rispetto a s comporterebbe, nei casi in cui la condizione al contorno è data dalla profondità critica, una instabilità numerica al primo passo.

Si ha pertanto:

$$\frac{dy}{f(y)} = ds$$

In pratica, partendo dalla condizione al contorno $y(s_0) = y_0$ nota, fissando un intervallo di integrazione $\Delta y = y_i - y_{i-1}$ molto piccolo, ricaviamo per passi successivi il valore dell'ascissa s alla quale ho la profondità y_i :

$$\frac{y_i - y_{i-1}}{f(y_{i-1})} = s_i - s_{i-1}$$

In realtà, nel modello adottato (.PROFILI.FOR) non sfruttiamo direttamente questa formula, ma applichiamo il metodo di integrazione di Runge-Kutta del IV° ordine.

$$y' = f(s, y)$$

$$y(s_0) = y_0$$

$$y_{n+1} = y_n + \sum_1^m A_i K_i$$

$$n = 0, 1, 2, \dots$$

$$K_i = h_n (s_n + a_i h_n, y_n + \sum_1^{i-1} \beta_{ij} K_j)$$

$$a_1 = 0$$

$$h_n = s_{n+1} - s_n$$

$$A_i = \sigma \omega_i$$

I coefficienti delle equazioni, σ, β, ω, a , dipendono dall'ordine m delle equazioni scelte; nel nostro caso $m = 4$.

Il modello è quindi valido in alveo prismatico e può essere utilizzato in tratte dove la sezione è abbastanza costante e non ci sono ostacoli quali ponti, tombini, ecc.

Per mettere in conto eventuali ostacoli il modello può essere utilizzato ponendo in serie le tratte prima e dopo l'ostacolo e inserendo le opportune condizioni di congruenza a valle e a monte dell'ostacolo stesso.

STRUTTURA DEL PROGRAMMA PROFILI.FOR

Il programma è articolato nelle seguenti parti:

- I. Programma principale: viene eseguita l'integrazione dell'equazione differenziale (1) con il metodo di Runge-Kutta del 4 ordine e calcolato quindi il profilo di rigurgito;
- II. Subroutine RIDRA: viene calcolato il valore delle variabili A , R , ε , b , in funzione della profondità y ;
- III. Functions PER, AREA, B, EPSE: servono a tradurre in funzioni univoche di y le variabili prima enunciate, per esclusiva praticità d'uso;
- IV. Functions INTER: viene eseguita l'interpolazione lineare;
- V. Function HG: dà il valore dell'altezza del baricentro della sezione in funzione di y .

CHIARIMENTI SUL PROGRAMMA PRINCIPALE

Il programma funziona per alvei cilindrici di sezione generica. Tutti i parametri inerenti la sezione al variare della profondità, vengono calcolati per certe profondità fissate all'inizio del programma tramite il richiamo del sottoprogramma RIDRA e vengono trasformati in funzioni mediante interpolazione lineare con INTER.

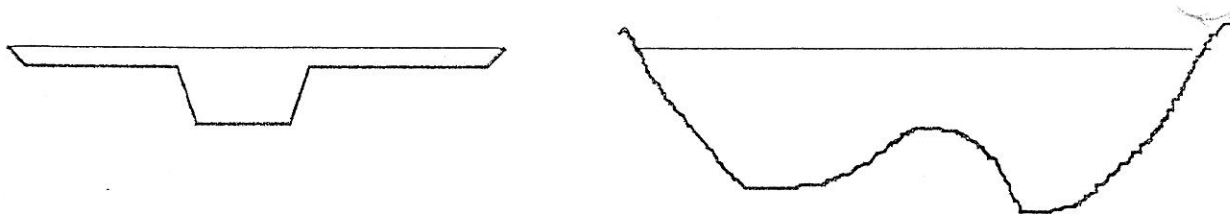
Può essere eseguito il calcolo di più profili consecutivamente.

Profondità critica e profondità di moto uniforme vengono calcolate iterativamente mediante il metodo di bisezione.

L'integrazione viene effettuata sulla variabile y con il metodo di Runge - Kutta del IV° ordine.

CHIARIMENTI SUL SOTTOPROGRAMMA RIDRA

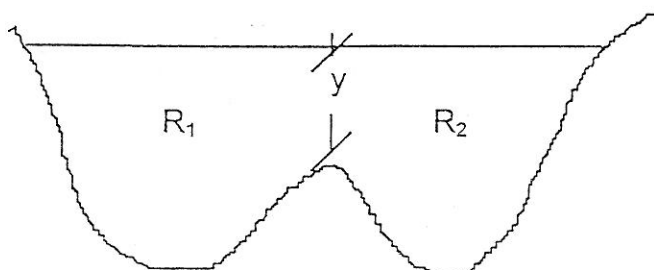
La forma della sezione viene assegnata dando le coordinate di un certo numero di punti, Ad ogni spezzata così individuata corrisponde una scabrezza. Da fare attenzione al fatto che non si può assegnare nessuna scabrezza uguale a zero.



Poiché nella realtà si possono avere alvei del tipo della figura e pagina precedente, che al disotto di certe profondità determinano un comportamento fisico diverso nelle varie parti, occorre istituire dei controlli che individuino queste parti e giudichino, secondo certi criteri, se spezzare o no la sezione.

L'individuazione dei possibili punti di separazione delle varie parti viene fatta a priori segnalando in ingresso tali punti mediante la ripetizione delle coordinate (punti doppi).

Automaticamente, nell'esecuzione del programma, quando vengono incontrati due punti coincidenti, viene eseguito il seguente controllo:



quando $y < R_1$ o $y < R_2$: separa;

quando $y > R_1$ e $y > R_2$: unisce.

CONSIDERAZIONI CIRCA LA DETERMINAZIONE DELLA SCABREZZA DELL'ALVEO

La determinazione della scabrezza dell'alveo è operazione preventiva al calcolo della portata convogliabile in una assegnata sezione di geometria nota. La relazione che lega la velocità media alla geometria della sezione è la relazione di CHEZY :

$$V = C * \sqrt{R * i}$$

ricavabile in condizioni di moto uniforme uguagliando le forze che provocano il movimento (la componente del peso) a quelle che vi si oppongono (resistenza di attrito lungo il perimetro bagnato).

Una derivazione totalmente empirica, dovuta a Manning , secondo la quale:

$$V = \frac{\phi}{\eta} * R^{2/3} * i^{1/2}$$

ove per entrambe le formule:

V = velocità media nella sezione

ϕ = coefficiente dipendente dal sistema di misura

R = raggio idraulico

i = pendenza del fondo del canale

n = coefficiente di Manning

C = coefficiente di Chezy

L'inverso del coefficiente di Manning, $c = 1/n$, è noto anche come coefficiente di Gauckler - Strickler.

In condizioni di moto uniforme, la pendenza del fondo del canale è pari alla pendenza del pelo libero e ancora uguale alla pendenza della linea dei carichi totali. In generale, condizioni di moto uniforme si possono creare solo in tratti lunghi di canale prismatico dove la velocità si stabilizza in modo che la perdita di quota equaglia la dissipazione di energia dovuta alla turbolenza.

Le due equazioni, derivate per vie diverse, permettono tuttavia di eguagliare i coefficienti che assumono il senso di "coefficiente di scabrezza"; diventa pertanto

$$C = \frac{\phi}{\eta} * R^{1/6}$$

Si deve tenere conto che in unità metriche

$$\phi = 1$$

Alcuni manuali e testi di riferimento guidano nella scelta del corretto coefficiente di scabrezza. L'operazione diventa complessa in caso di sezioni composte (alveo principale + golene) oppure quando, con il crescere del livello idrometrico, la corrente interessa sponde con vegetazione densa.

E' questo di corsi d'acqua importanti, che hanno ampie zone golenari dove la scabrezza e' elevata, l'altezza d'acqua e' sempre modesta e quindi la velocità' della corrente e' bassa, per cui nei calcoli idraulici si può assumere l'ipotesi cautelativa che l'intera portata scorra nella parte centrale dell'alveo.

Nel caso di alvei ghiaiosi alcune formule sia empiriche che teoriche permettono di ricavare il coefficiente di scabrezza in funzione delle caratteristiche del materiale e della geometria e pertanto possono servire da riferimento quando si abbia tali informazioni a disposizione.

La relazione di LIMERINOS propone:

$$n = \frac{0,113 * R^{1/6}}{1,16 + 2,0 * \log \frac{R}{D_{34}}}$$

La resistenza al moto può essere suddivisa in due fattori di cui il primo è dovuto alle forme del fondo che possono indurre il fenomeno della separazione del flusso (come per esempio le antidune in caso di corrente veloce), mentre il secondo è dovuto alle dimensioni dei grani di materiale ed alla loro disposizione. Per piccoli corsi d'acqua si deve aggiungere l'effetto dovuto alla presenza della vegetazione sulle sponde che possono essere interessate dalla corrente agli stati idrometrici più elevati.

La resistenza dovuta alle dimensioni del materiale sul fondo è prevalente allorché non avviene trasporto (fondo fisso) e può essere ulteriormente precisata tenendo conto di alcune situazioni:

$$\frac{d}{D_{50}} \leq 3$$

$$3 < \frac{d}{D_{50}} \leq 10$$

$$10 < \frac{d}{D_{50}} \leq 20$$

$$\frac{d}{D_{50}} > 20$$

che rappresentano la gamma di situazioni fra condizioni di resistenza a "grande scala" fino a quelle di "piccola scala". BRAY suggerisce pertanto di confrontare i risultati a tre relazioni valide quando:

- d/D_{50} è maggiore di 10
- il fondo è fermo
- il deflusso interessa il canale principale dell'alveo

Le relazioni, espresse con riferimento alla formulazione della resistenza di Darcy - Weisbach, sono:

$$\frac{d}{D_{50}} > 10 \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = 1.2R^{1/2}I^{-1/6}$$

$$\text{fondo fisso} \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = 2.0 \log \left(\frac{R}{D_{64}} \right) + 1.1$$

$$\text{deflusso in alveo principale} \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = 1.9 \left(\frac{R}{D_{34}} \right)^{1/4}$$

dalla quale si ricava il coefficiente n di Manning :

$$n = 0,113 * f^{1/2} * R^{1/6}$$

Occorre tenere conto che in condizioni di portate in grado di modellare l'alveo, le relazioni teoriche cadono in difetto, non solo ma esse forniscono valori costanti decrescenti con la profondità media della corrente e non considerano che, a valori elevati di portata, si incontra resistenza delle sponde in genere coperte di vegetazione. Il valore della scabrezza può pertanto essere sottostimato con conseguente sopravvalutazione della portata convogliabile.

Dalla letteratura esistente relativa a studi sperimentali fatti su modelli dell'Arno, sia in moto permanente che vario, sono state dedotti i seguenti valori del coefficiente di scabrezza ' n di Manning o c di Strickler:

$$n = 0.030 \quad \text{da cui} \quad c = 33. \text{ Alvei con letti sabbiosi o limosi e andamento meandriforme}$$

$n = 0.040$ da cui $c = 25$. Alvei con letti sabbiosi o ghiaiosi e
andamento a barre alternate

$n = 0.050$ da cui $c = 20$ Alvei con letti ciottolosi e ghiaiosi e
andamento a canali intrecciati

Elaborazione della scala di deflusso , portate – altezze idrometriche.

Per la deduzione della portata dall'altezza idrometrica in una sezione generica del corso d'acqua, si utilizza la relazione di Manning – Chezy del moto uniforme applicata con il metodo della sezione composita.

I caratteri idraulico – geometrici della sezione di flusso sono definiti dal profilo topografico della stessa, dalla pendenza media locale del corso d'acqua e dalla classificazione geomorfologica del corso d'acqua. La sezione misurata viene scomposta in una serie discreta di elementi geometrici, pari agli n-1 punti del rilievo topografico, per i quali si assume un comportamento ideale a tubi di flusso, cioè non si considera lo scambio di quantità di moto tra due tubi contigui. Il raggio idraulico dell'elemento, in assenza di attrito di pareti laterali, coincide necessariamente con l'altezza idrometrica dal piano di campagna. La relazione altezza – portata del singolo tubo di flusso e' perciò data da :

$$\delta Q = n^{-1} * h^{2/3} * i^{1/2} * \delta A$$

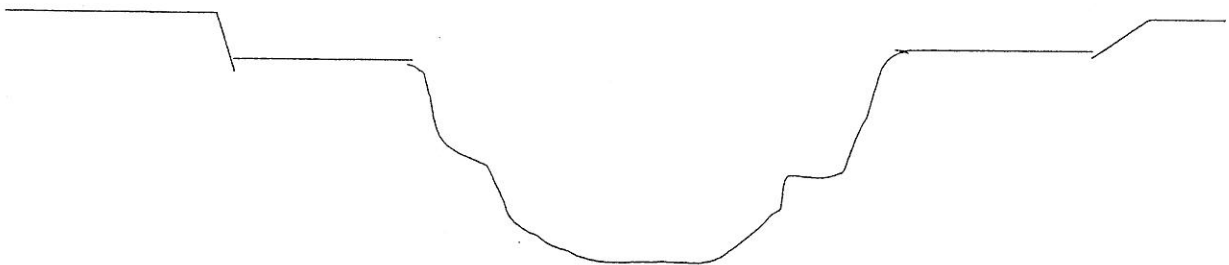
dove :

δQ = portata in mc/s
n = coefficiente di Manning
h = altezza idrometrica in m
i = gradiente idraulico
 δA = Area della sezione del tubo di flusso , in mq

La portata complessiva relativa ad una determinata altezza idrometrica e' data dalla sommatoria dei contributi dei tubi di flusso interessati da tale stato idrometrico.

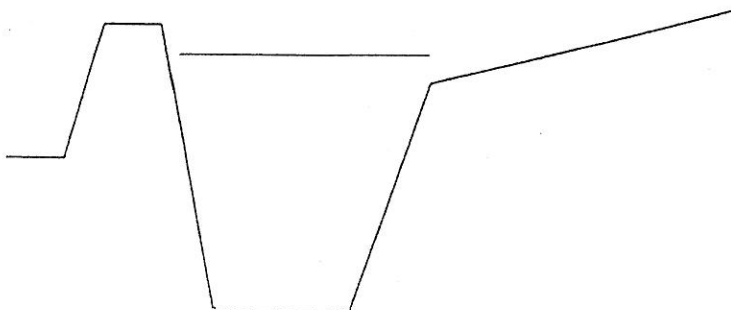
La scomposizione della sezione in elementi di flusso e' resa necessaria dalla conformazione composita delle sezioni più comuni, per le quali l'applicazione della formula di Manning – Chezy , in termini di area complessiva della sezione e raggio idraulico medio, conduce a relazioni portate – altezze non attendibili, a causa della non realistica riduzione della velocità media di flusso per gli stati idrometrici nelle zone golenari.

Con il metodo della sezione composita inoltre si caratterizza meglio la sezione di deflusso in quanto si possono assegnare coefficienti di scabrezza diversi tra alveo attivo, zone golenari e zone di possibile esondazione.



Esempio di Sezione naturale composita.

Nel caso di sezione regolare, di forma trapezia, che si trova spesso nei tratti di fiume rettificati oppure nei canali artificiali, si può utilizzare le seguenti formule adatte per l'intera sezione :



b_o
Caratteristiche geometriche

area $A = y(b_o + y \operatorname{tg} \theta)$

perimetro bagnato $B = b_o + y / \cos \theta$

larghezza pelo libero $b = b_o + 2y \operatorname{tg} \theta$

Le caratteristiche fisiche invece dipendono anche dalla scabrezza e dalla pendenza del fondo :

$\chi = cR^{1/6}$ coefficiente d'attrito di Chezy

c Coefficiente di Gauckler - Strickler

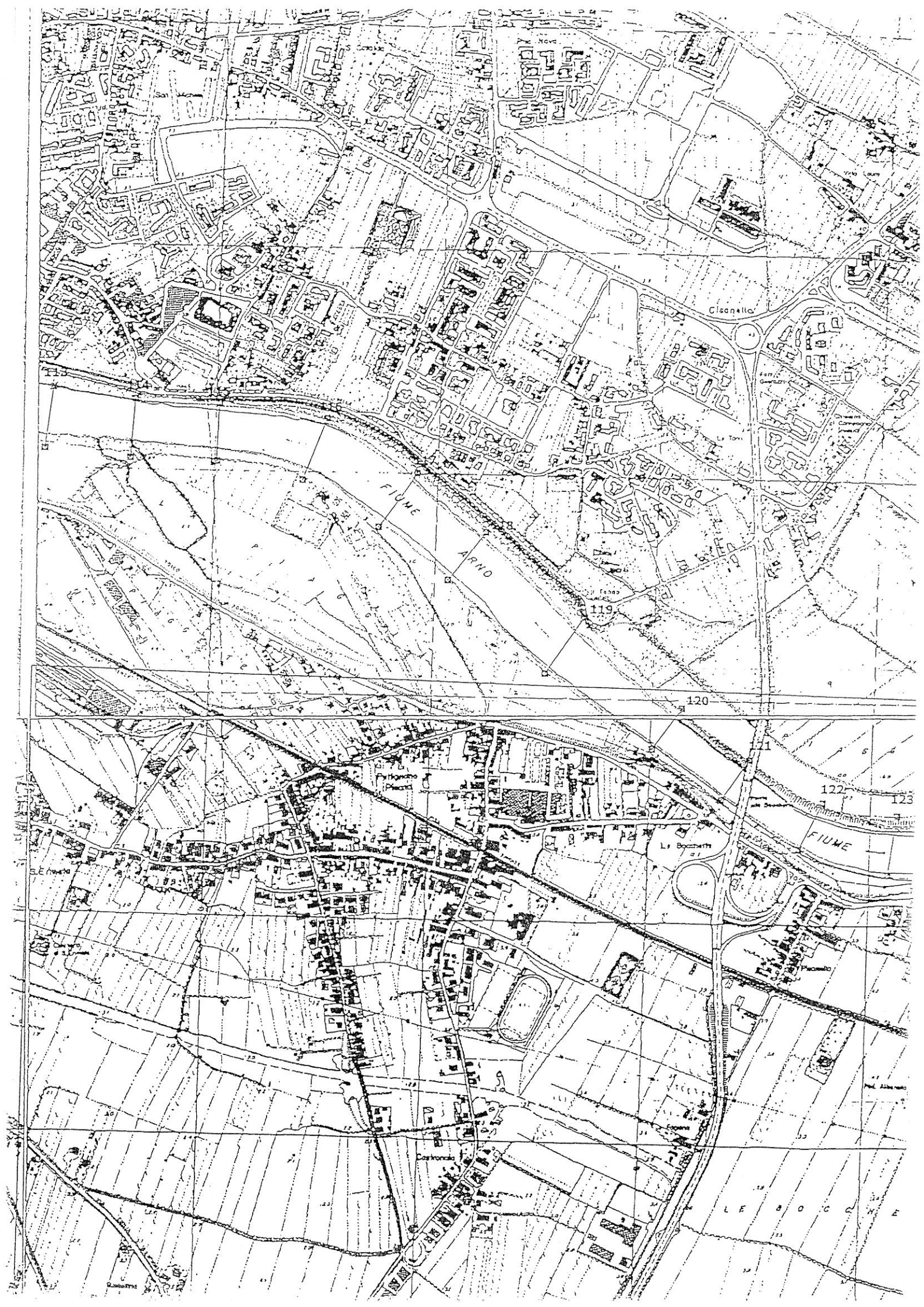
i pendenza del fondo

$V = \chi(Ri)^{1/2}$ velocità media della corrente

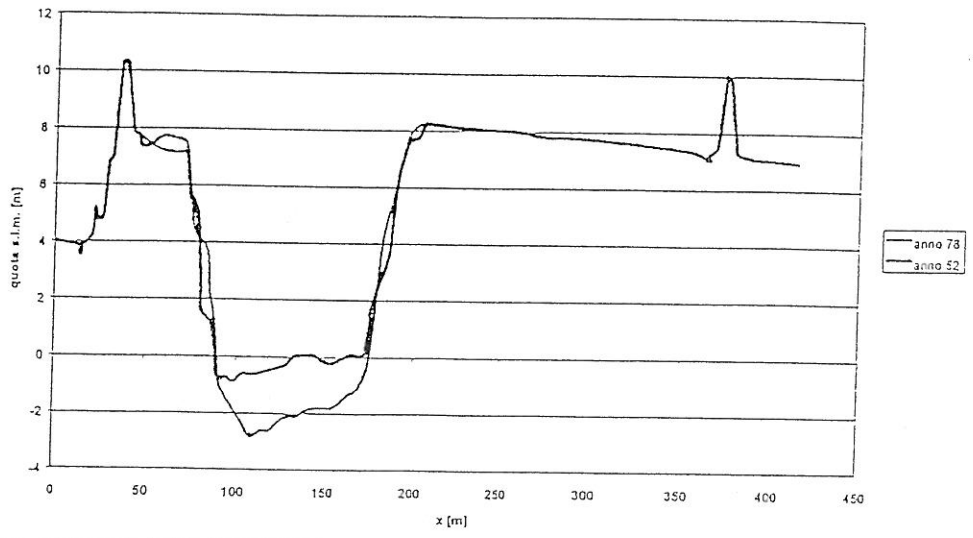
$R = A/B$ raggio idraulico

Appendice C

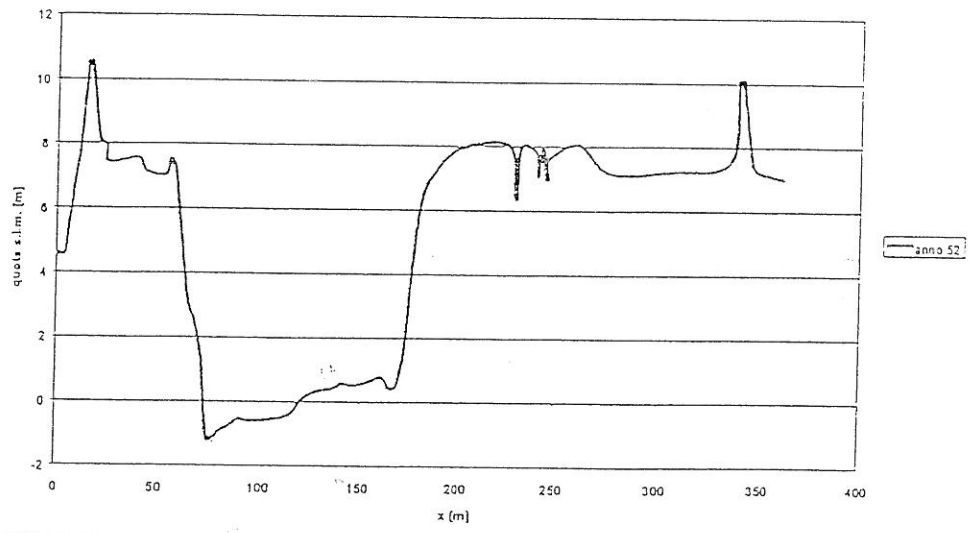
Sezioni dell'Arno comprese tra la N. 129 e la N. 112.



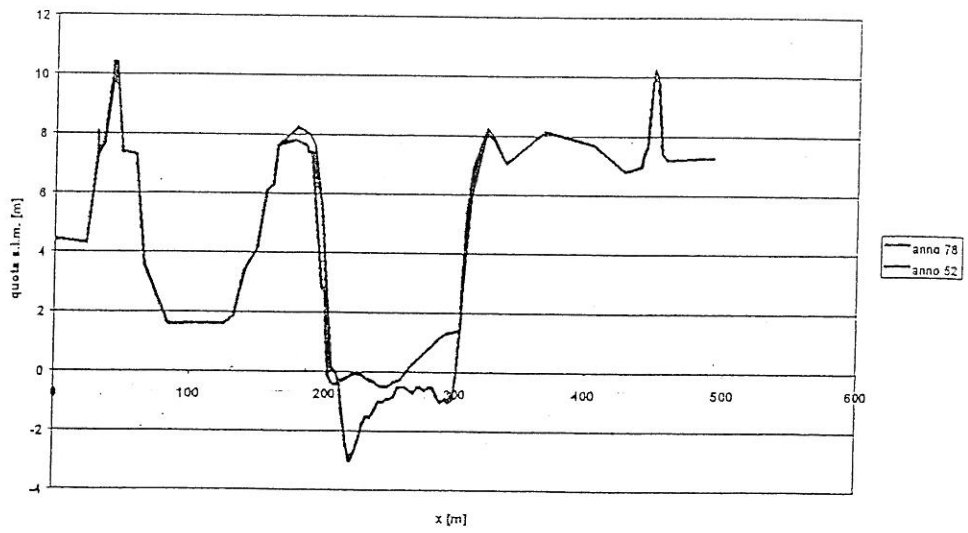
sezione 127



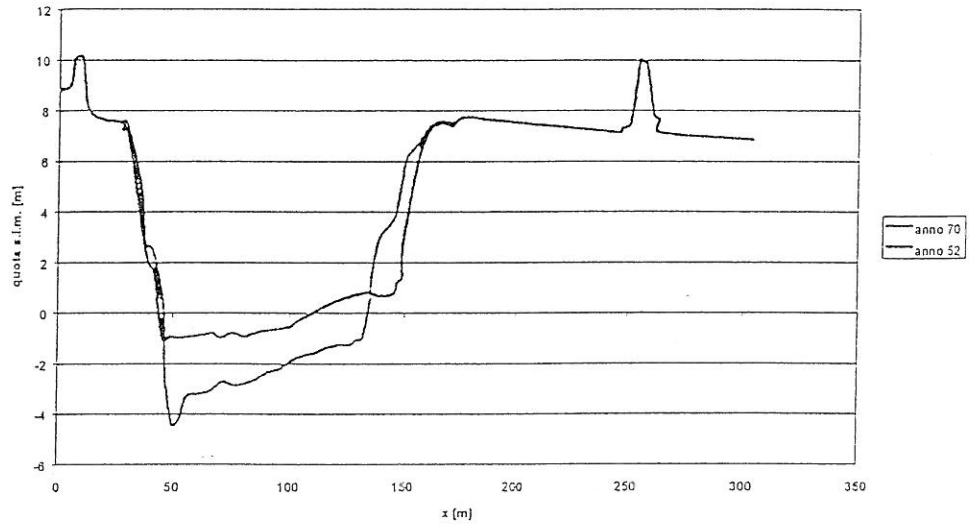
sezione 128



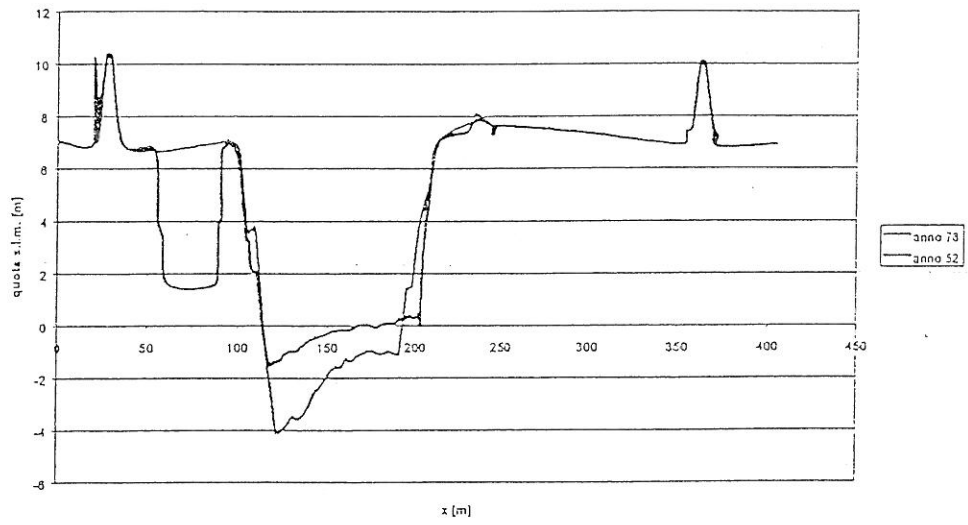
sezione 129



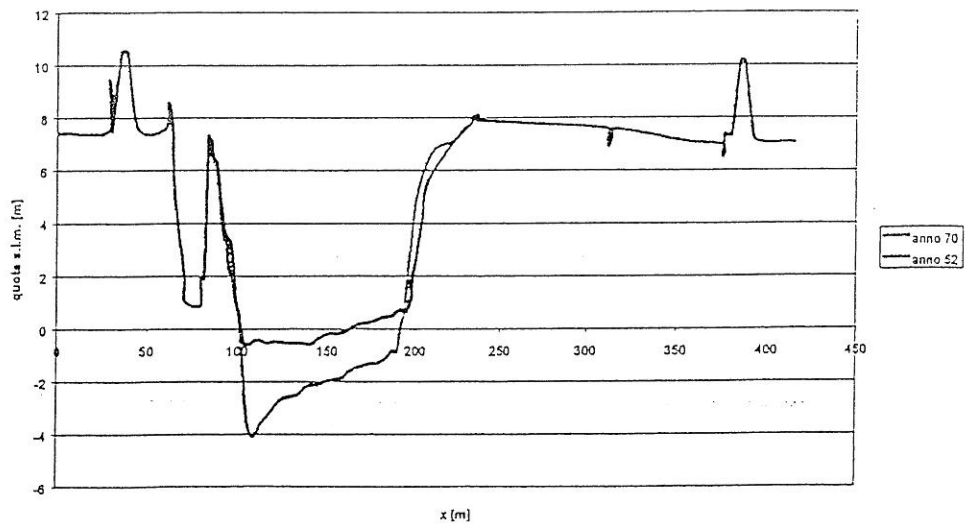
sezione 124



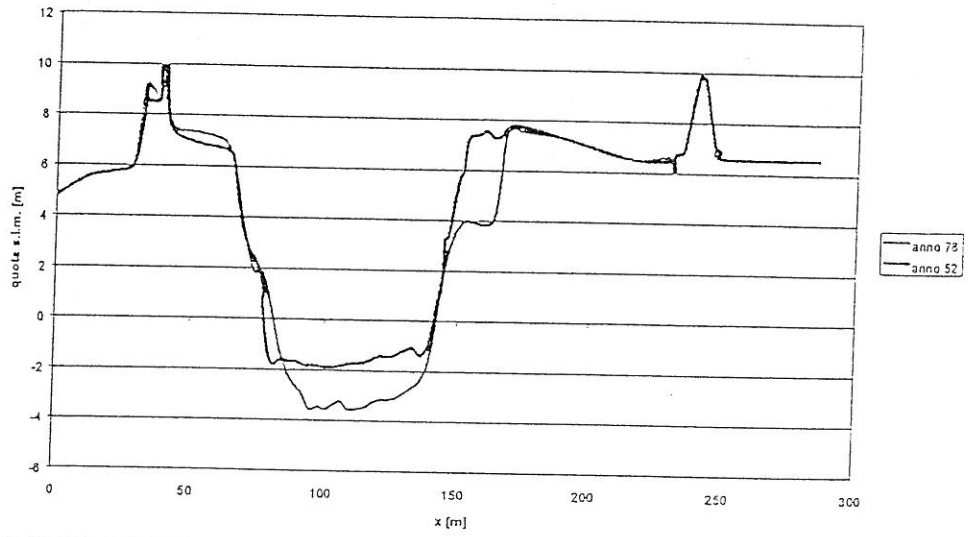
sezione 125



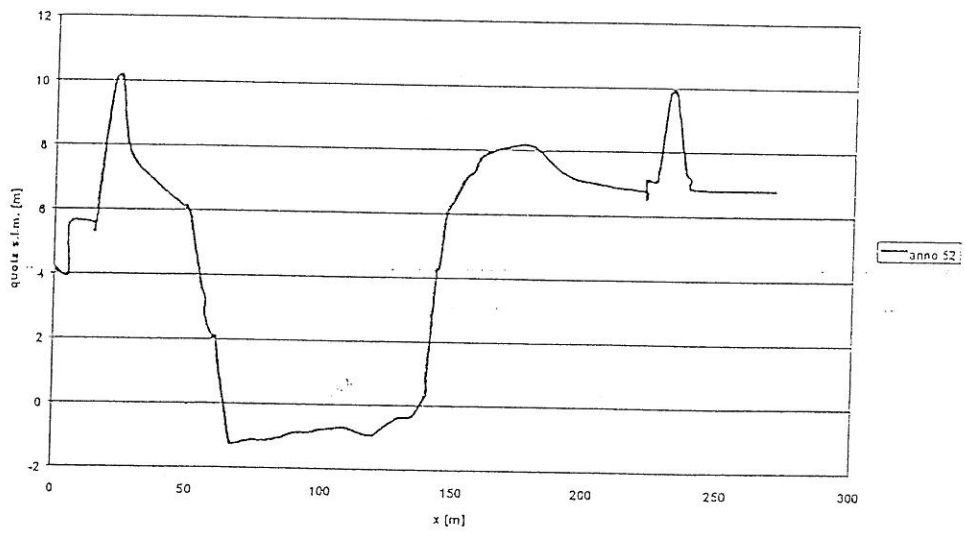
sezione 126



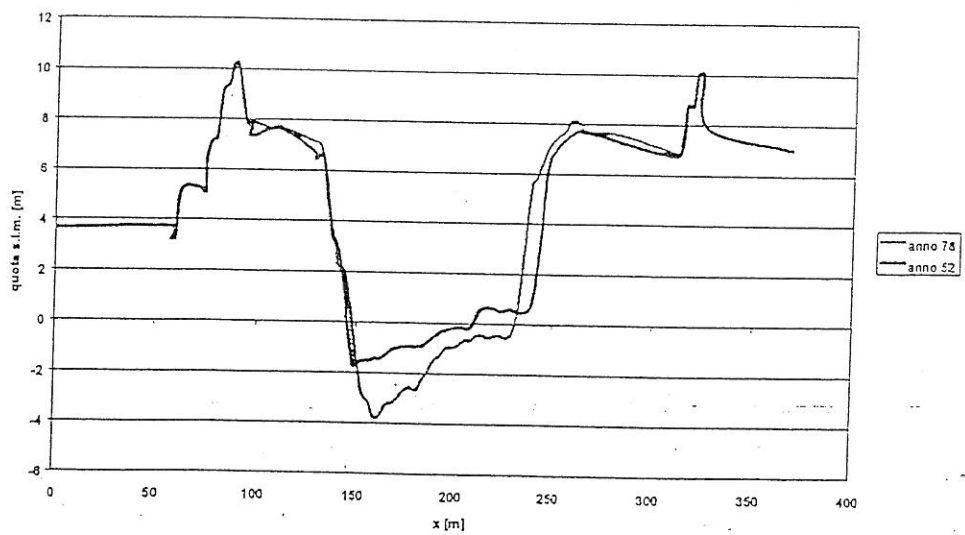
sezione 121



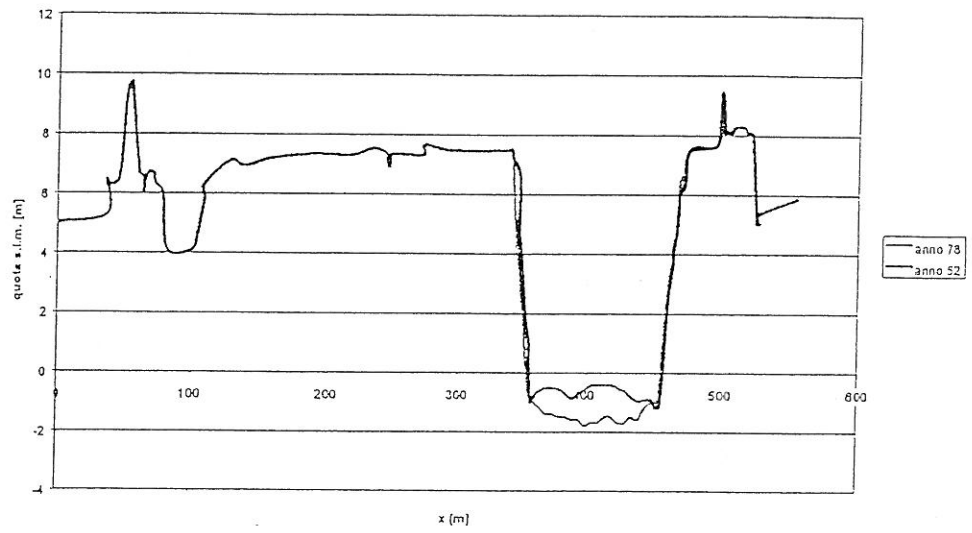
sezione 122



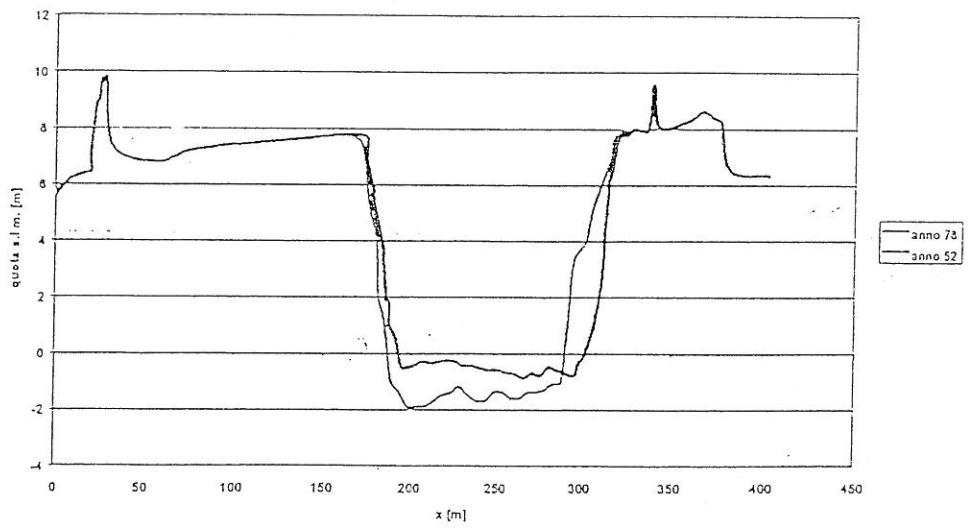
sezione 123



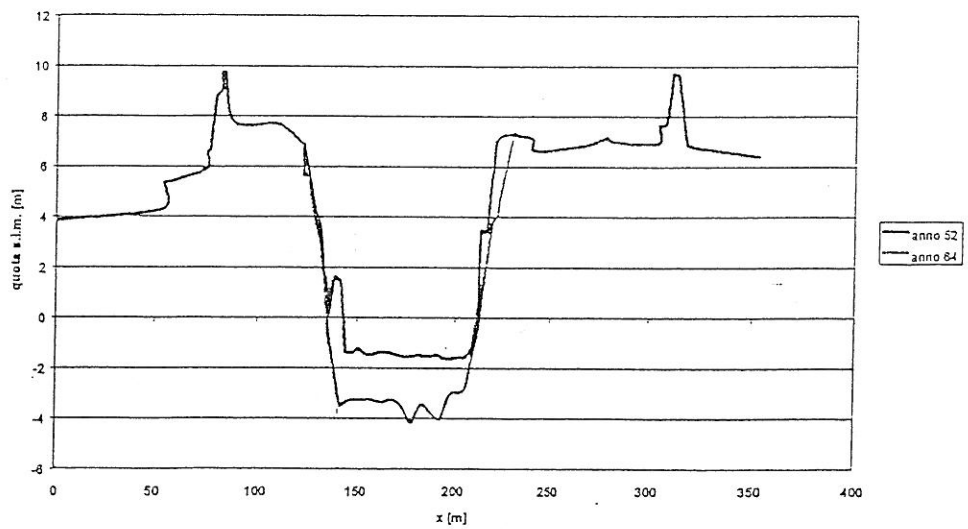
sezione 118



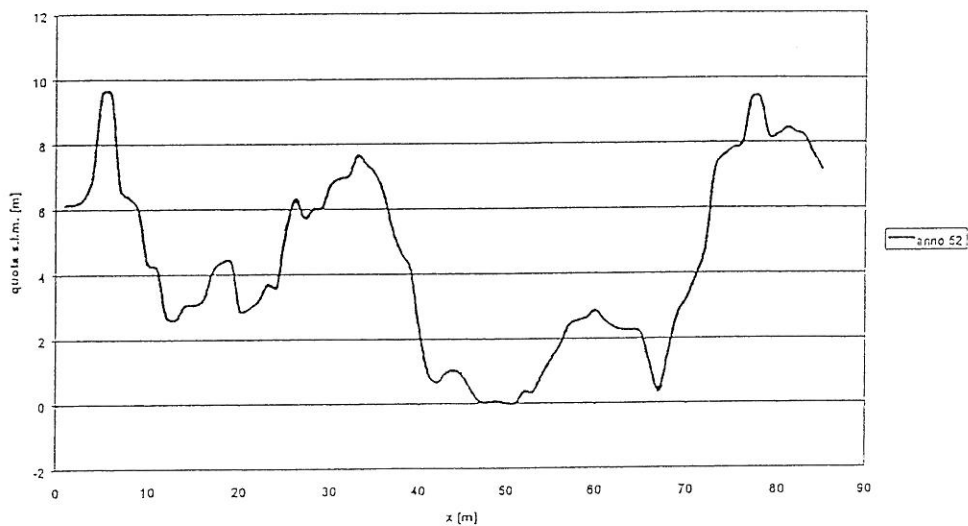
sezione 119



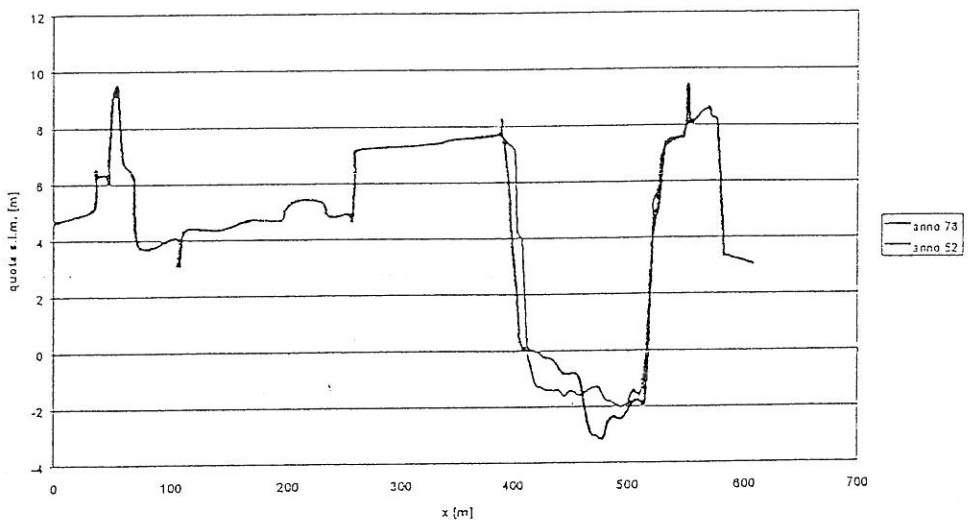
Sezione 120



sezione 115



sezione 116



sezione 117

