



## Aerelba S.p.A.

57034 Marina di Campo (LI)  
Tel. 0565/976011 Fax 0565/976008  
P.IVA 00883460495



## ALA TOSCANA S.p.a.

Via aeroporto 208, 57034 Marina di Campo (LI)  
Tel +39 0565 976011 - Fax +39 0565 976008  
P.IVA 01416980504 - e-mail: [alatoscana@elba-airport.it](mailto:alatoscana@elba-airport.it)

# LAVORI DI COMPLETAMENTO DELL'AEROSTAZIONE

## II LOTTO FUNZIONALE

### STUDIO IDRAULICO

REL  
1

Relazione idrologico idraulica

Data emissione:  
Febbraio 2012

CODICE  
ELABORATO

Anno	Commessa	Progetto	Tipologia	Elaborato n°
2012	009	I	REL	1

LIVELLO	Numero	Data	Stesura	Controllo	Approvazione
1° Stesura	01	07/02/2012	FB	PB	PB

Elaborazioni idrauliche

**INGEO**

Studio INGEO  
Ingegneri e Geologi Associati  
Via di Tiglio 433 - 55100 Lucca  
Telefono 0583 - 48682  
Telefax 0583 - 464539  
E-mail [studio@ingeo.it](mailto:studio@ingeo.it)

Il tecnico incaricato

Dott. ing. Paolo BARSOTTI

Collaborazione modellistica idraulica

Dott. ing. Francesco BARSOTTI

Rilievi topografici

STUDIO DI TOPOGRAFIA

GEOM. SANI DAVID & GEOM. GROSSI LAURA ASSOCIATI

Il tecnico

Geom. David SANI



## SOMMARIO

Sommario.....	1
1 INQUADRAMENTO.....	3
1.1 Inquadramento geografico .....	3
1.2 Inquadramento normativo .....	4
2 STUDIO IDRAULICO.....	7
2.1 Obbiettivi dello studio idraulico .....	7
2.2 Analisi del reticolo idraulico .....	8
2.2.1 Generalità.....	8
2.2.2 Basi di calcolo .....	8
2.2.3 Considerazioni sul trasporto solido.....	9
2.2.4 Risultati delle modellazioni.....	10
2.3 Studio delle esondazioni .....	11
2.3.1 Generalità.....	11
2.3.2 Basi di calcolo .....	11
2.3.3 Morfologia del terreno.....	12
2.3.4 Ingressi ed uscite di portata dal modello .....	13
2.3.5 Elementi particolari.....	16
2.3.6 Risultati delle esondazioni.....	18
3 EVIDENZE «SPERIMENTALI»: L'EVENTO ALLUVIONALE DEL 7 NOVEMBRE 2011 .....	19
4 PROPOSTA DI RICLASSIFICAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA.....	22
5 CONCLUSIONI.....	23

### Premessa

A seguito dell'incarico conferito dalla società Aerelba S.p.a e Ala Toscana S.p.a., il sottoscritto dott. Ing. Paolo Barsotti, iscritto all'ordine degli ingegneri della provincia di Lucca, produce il presente studio idraulico inerenti al progetto di "Lavori di completamento dell'aerostazione – Il lotto funzionale". L'intervento consiste nella realizzazione di nuovi edifici a servizio dell'aerostazione: infatti, il traffico registrato nel 2011, ha indotto Aerelba ad intervenire con urgenza, in vista della prossima stagione estiva 2012, per la realizzazione di almeno una prima porzione delle opere di II° Lotto - con l'obiettivo di completare nel breve tutto il II° Lotto - al fine di:

- mettere a disposizione del passeggero adeguati spazi e servizi in relazione agli attuali standards di sicurezza e di confort delle aree aeroportuali;
- conferire decoro, vivibilità e sicurezza agli spazi prospicienti la nuova aerostazione (I° Lotto) che allo stato attuale risultano disomogenei non definiti in termini di destinazione d'uso;
- migliorare la viabilità di accesso alle aree aeroportuali e definire adeguate aree di sosta veicoli.

Lo studio idraulico ha come obiettivo, alla luce della normativa vigente, di cui saranno dati i riferimenti nell'ambito della presente relazione, la determinazione del battente idraulico che si può verificare nell'area dell'intervento in relazione a fenomeni aventi ritorno 200 e 30 anni. Sulla base di tali valutazioni sarà proposta agli Enti Competenti una riclassificazione della pericolosità idraulica della zona aeroportuale, necessaria per poter ri-acquisire il titolo a costruire già fornito dal Comune di Campo nell'Elba con la concessione n. 74 del 5.11.2002 e decaduto per decorrenza dei termini, ma ad oggi non più rinnovabile a motivo dell'entrata in vigore della L. R. n. 66/2011, che, all'art. 142, sancisce l'assoluta inedificabilità in aree classificate a P. I. M. E..

Nel periodo intercorso fra la concessione originaria e la data odierna, peraltro, nulla è cambiato, dal punto di vista di pericolosità idraulica, nell'area in esame. Tuttavia, come si darà conto nella presente relazione, l'evento alluvionale del 7.11.2011 avvenuto sul territorio di Marina di Campo, di carattere certamente ultraduecentennale, non ha dato luogo ad esondazioni nella zona indagata nel presente studio, rafforzando l'ipotesi di sussistenza di basi sia teoriche che sperimentali per la riclassificazione di questa area rispetto in termini di pericolosità idraulica.

Le analisi idrologiche sono state svolte con la collaborazione del dott. Ing. Francesco Barsotti, iscritto all'ordine degli Ingegneri della provincia di Lucca con il numero A1590 e dal dott. ing. Alessandro Giorgi, iscritto all'ordine degli ingegneri della provincia di Lucca con il numero A 1775. I rilievi topografici a sostegno della modellazione idraulica sono stati effettuati dallo "Studio di topografia Geom. Sani David & Geom. Grossi Laura Associati" di Lucca.

## 1 INQUADRAMENTO

### 1.1 Inquadramento geografico

L'intervento in oggetto riguarda la realizzazione di alcuni edifici a servizio dell'Aerostazione dell'Isola d'Elba situata all'interno del territorio comunale di Campo nell'Elba. L'ubicazione degli edifici in progetto è rappresentata nell'immagine successiva, in cui si riporta anche il reticolo idraulico significativo in prossimità del lotto in esame.



Figura 1.1 - Ortofoto con ubicazione dell'intervento in relazione al reticolo idraulico

Dalla figura si nota che le esondazioni che possono interessare la zona di studio sono quelli del reticolo idraulico della Pila-Galea e dei loro principali affluenti. In particolare, ai fini della valutazione della lama d'acqua relativamente al lotto in esame si devono prendere in considerazione i seguenti corsi d'acqua:

- Il fosso Pila;
- Il fosso Forconi;
- Il fosso Galea.

Fanno parte del reticolo anche il fosso Filetto e il fosso Segagnana, ma si trovano molto più a valle rispetto all'area in esame e pertanto non risultano significativi per gli obiettivi del presente studio idraulico. Di seguito si riporta una visione prospettica di dettaglio per evidenziare la situazione sopra esposta, con la posizione del lotto in relazione al reticolo idraulico.



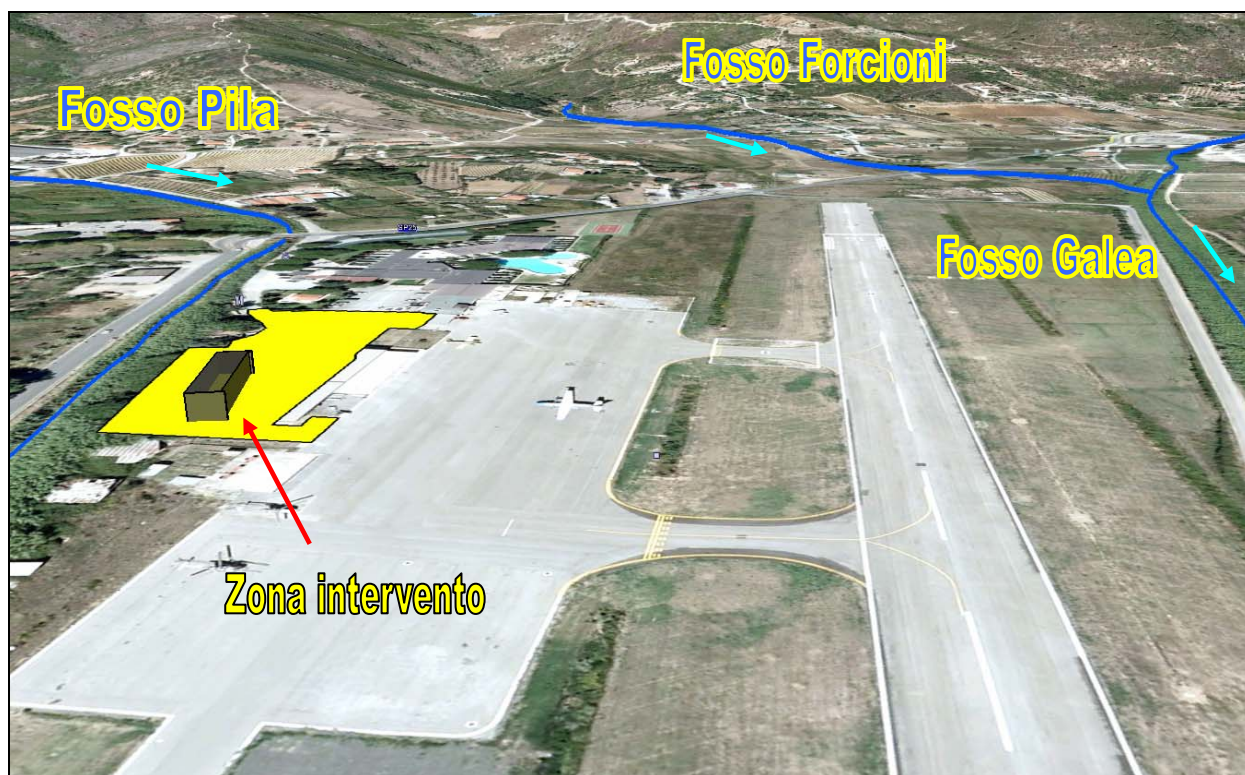


Figura 1.2 – Vista prospettica della zona dell'intervento, con visione del reticolo idraulico a monte di esso. In giallo l'area globale dell'intervento, in grigio la sagoma dei fabbricati

## 1.2 Inquadramento normativo

La normativa di riferimento, dal punto di vista idraulico è costituita da:

- Il Piano di Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino Toscana Costa adottato per ciò che concerneva le misure di salvaguardia con delibera G.R. N.831 del 23 luglio 2001; successivamente la delibera G.R. N.1330 del 20 dicembre 2004 adottava totalmente il Piano di Assetto Idrogeologico di cui il Consiglio Regionale, con atto di delibera n. 13 del 25 gennaio 2005, approvava i contenuti. Successivamente all'approvazione del P.A.I. il quadro conoscitivo delle pericolosità idraulica e geomorfologica è stato aggiornato in raccordo con le Amministrazioni Comunali che hanno provveduto nel frattempo ad adeguare al P.A.I. i propri strumenti di governo del territorio;
- Legge Regionale 27 Dicembre 2011, n. 66 "Legge Finanziaria per l'anno 2012", per quanto riguarda la Sezione VI "Disposizioni in materia di governo del territorio e difesa dal rischio idraulico";
- Strumenti urbanistici del Comune di Campo nell'Elba e in particolare il Piano di Fabbricazione e le sue successive varianti (tra cui si ricorda la Variante Gestionale del Maggio 2008).

La cartografia del Piano di Assetto Idrogeologico sopra citato indica che l'area in esame è da considerarsi a Pericolosità Idraulica Molto Elevata (P.I.M.E.), come si può notare nello stralcio della tavola 44 della Carta di Tutela del Territorio.





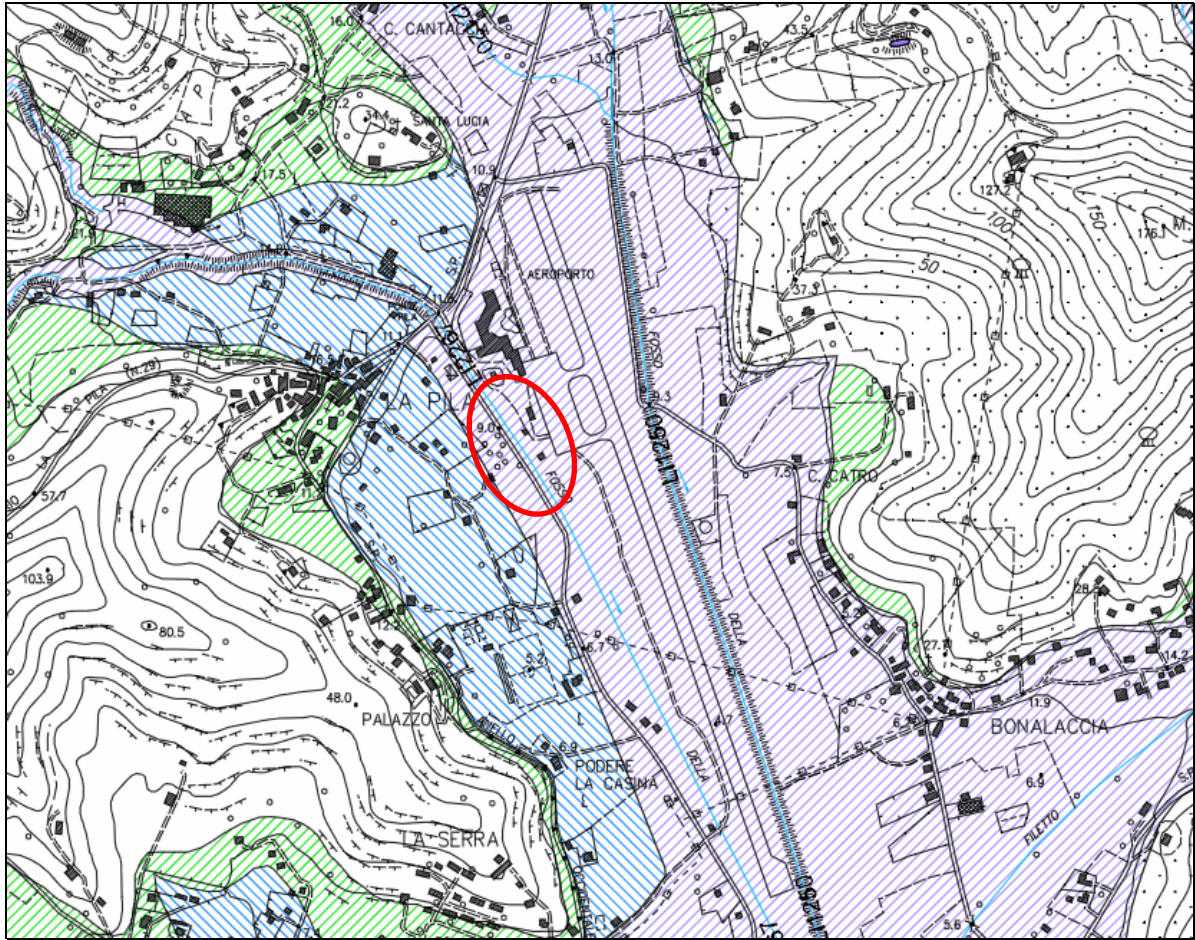


Figura 1.5 – Stralcio della Carta delle Aree Allagabili della Variante Gestionale al Piano di Fabbricazione del Comune di Campo nell'Elba

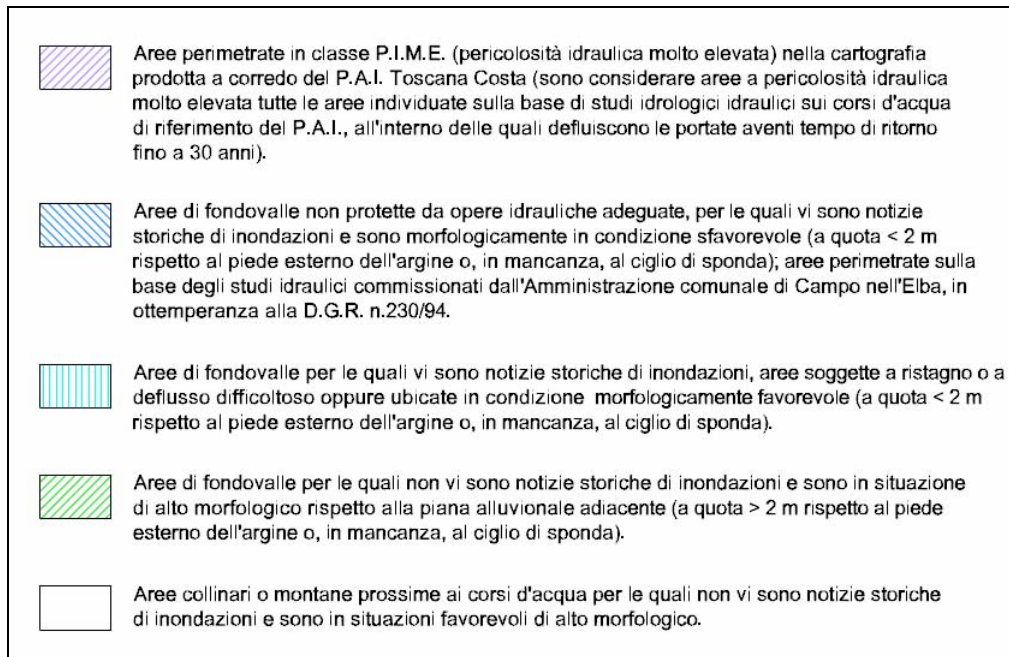


Figura 1.6 – Legenda della Carta delle Aree Allagabili della Variante Gestionale al Piano di Fabbricazione del Comune di Campo nell'Elba



Scendendo nel dettaglio, L'art. 142 della L. R. n. 66 del 27.12.2011, pubblicata sul BURT della Regione Toscana del 28.12.2011, ha modificato le disposizioni relative agli interventi nelle aree classificate a pericolosità idraulica molto elevata dagli strumenti preposti al governo del territorio dal punto di vista idraulico (Autorità di Bacino), limitando le opere consentite in queste zone esclusivamente alle infrastrutture di tipo lineare non diversamente localizzabili e ciò solo a determinate condizioni; in sostanza non è più possibile, in questi casi, realizzare altri interventi, come quello previsto dalla Società Aerelba SpA, neppure con procedure di "autosicurezza" ovvero con la "preventiva o contestuale realizzazione di interventi di messa in sicurezza per tempo di ritorno duecentennale", come risultava possibile, ai sensi dell'art. 5 del P. A. I. del Bacino Toscana Costa, prima dell'entrata in vigore della L. R. citata.

In concomitanza con la decadenza del diritto acquisito dalla Società Aerelba con la concessione n. 74 del 5.11.2002 del Comune di Campo nell'Elba, peraltro erogata anche sulla base di un parere favorevole del Comitato Tecnico di Bacino Toscana Costa a seguito di verbale di riunione del 19.12.2001 – n. 34, come si legge nel dispositivo dell'atto concessorio, l'entrata in vigore della normativa suddetta determina l'attuale impossibilità formale di rinnovo della concessione stessa, senza che siano *sostanzialmente* variate le condizioni di pericolosità «di fatto» dei luoghi su cui si deve intervenire; c'è anzi da rimarcare come, semmai, queste condizioni siano migliorate, ancorché indirettamente, per l'effetto degli interventi in atto sulla parte di valle del reticolo (Foce) in avanzato corso di effettuazione da parte del Comune di Campo nell'Elba sulla base di finanziamenti del post-alluvione 2002, che consentono un maggiore deflusso a valle che, quanto meno, non determina effetti negativi sulla zona in oggetto; viceversa non sono stati ancora effettuati gli interventi, già previsti fin dal 2002 e per i quali la scrivente Società Aerelba ha partecipato al finanziamento in accordo di programma con Comune di Campo nell'Elba e Provincia di Livorno, che avrebbero consentito, di fatto, la messa in sicurezza della zona di intervento.

Il recupero delle condizioni formali per la nuova acquisizione del titolo a costruire, ai sensi del comma 6, lettera d) dell'art. 142 della L. R. n. 66, , può avvenire esclusivamente nel caso che le aree attualmente classificate a pericolosità idraulica molto elevata (come quella in esame) «a seguito di ulteriori indagini o di interventi di messa in sicurezza» vengano ri-classificate in pericolosità idraulica inferiore. Per questo motivo si è dato atto ad ulteriori approfondimenti degli studi idraulici sul bacino dei fossi Pila e Galea<sup>1</sup>, già valutati positivamente rispetto ai criteri ed agli obiettivi del Piano acquisiti dal Bacino Toscana Costa e assunti nel quadro conoscitivo di Bacino, mirati alla valutazione specifica dello stato di pericolosità attuale dell'area di intervento, che, già negli studi effettuati negli anni 2000-2001 dallo scrivente<sup>2</sup> risultava al di fuori dalle aree allagabili con tempo di ritorno di 200 anni. Tali approfondimenti, resi possibili dagli strumenti per la simulazione delle dinamiche di piena al di fuori dei corsi d'acqua, consentono di valutare con maggiore dettaglio lo stato di pericolosità dell'area e, nel caso specifico, vengono effettuati per verificare con maggiore dettaglio, la possibilità di intervenire in sicurezza con la realizzazione di opere fondamentali per l'esercizio dell'aerostazione di Campo nell'Elba.

## 2 STUDIO IDRAULICO

### 2.1 Obiettivi dello studio idraulico

Scopo del presente studio è la determinazione delle classi di pericolosità idraulica effettive all'interno del perimetro aeroportuale di Campo nell'Elba per verificare la possibilità di ri-acquisire il titolo

<sup>1</sup> Studi idraulici a supporto dei progetti di "Sistemazione idraulica dei bacini e delle aste dei fossi Pila e Galea e relativi affluenti (Lotto Funzionale 1)", presentati nell'anno 2004 e assunti dal Piano di Bacino come approfondimenti del Quadro Conoscitivo [2]

<sup>2</sup> Studio idrologico-idraulico per la deperimetrazione dell'area interessata alla costruzione dell'aerostazione di Marina di Campo, P. Barsotti, novembre 2000, TAV. 3 [1]

formalmente decaduto nel rispetto delle disposizioni normative della L. R. n. 66/2011 della Regione Toscana.

Pertanto lo studio è così organizzato:

- Analisi del reticolo idraulico, con determinazione delle criticità e dei punti di crisi del reticolo da cui si possono originare le esondazioni potenzialmente influenti sul lotto in esame
- Analisi delle esondazioni, con verifica dei battenti idraulici in relazione ai tempi di ritorno 30 e 200 anni
- Determinazione di una Carta di Pericolosità idraulica per la zona in esame da proporre per la riclassificazione dell'area.

## 2.2 Analisi del reticolo idraulico

### 2.2.1 Generalità

Lo studio idraulico sul reticolo, che scaturisce dallo Studio Idraulico propedeutico alla progettazione degli interventi per la «Messa in sicurezza dei fossi Pila e Galea» (*Intervento inserito nel Piano di prevenzione, ripristino a messa in sicurezza dei bacini prioritari dell'Isola d'Elba e primo programma di interventi per la riduzione del rischio idrogeologico – D. G. R. T. n. 830 del 4/8/2003 Dip. Pol. Terr. e Amb. – Ord. P. C. M. n. 3276 del 28/3/2003*), già assunto nel Piano di Bacino come approfondimenti del Quadro Conoscitivo, viene effettuato per la determinazione dei punti di crisi, ovvero delle sezioni da cui si possono ingenerare le esondazioni. Nel caso in esame si considerano i tratti dei corsi d'acqua da cui si possono originare esondazioni che possono interessare il lotto in oggetto; tali tratti sono:

- Il fosso della Pila a monte del lotto in esame in relazione alla sinistra idraulica
- Il fosso Forconi in destra idraulica
- Il fosso Galea a valle della confluenza del fosso Forconi

Non si tengono in considerazione i tratti di corsi d'acqua a valle del lotto in esame, in quanto eventuali fuoriuscite sicuramente, non potendo risalire verso monte, non interessano il lotto in questione. Non si ritengono significative le fuoriuscite del fosso Pila a monte del lotto in esame in destra idraulica, in quanto tali volumi liquidi, sulla base della morfologia del piano di campagna e per la presenza delle arginature del corso d'acqua stesso, non possono rivolgersi verso il lotto in oggetto. Lo stesso può dirsi per quanto riguarda il fosso Forconi, relativamente alla sua sinistra idraulica. Per quanto riguarda il fosso Galea, in accordo con i *“Criteri per la valutazione di proposte di modifica delle aree a pericolosità idraulica elevata e molto elevata presentate da Enti Locali o proposte dalla Segreteria Tecnica Operativa”* redatti dall'Autorità di Bacino Toscana Costa, non si tiene in considerazione della laminazione per effetto delle fuoriuscite che si verificano a monte del tratto in esame, ma, cautelativamente, si suppone che arrivi nella zona adiacente al lotto tutta la portata idrologica. Tale assunzione risulta cautelativa, in quanto porta a stime di volumi di esondazione superiori a quelli effettivi: infatti parte delle acque del reticolo, nel fenomeno reale, fuoriesce a monte, allaga i terreni in tale zona e non può interessare il lotto in esame per la presenza di ostacoli (rilevati stradali, muretti, ecc.) che impediscono l'arrivo di tali volumi nella zona aeroportuale. Al contrario, nel presente studio idraulico, si trascura tale situazione e dunque si valutano le fuoriuscite del fosso Galea in modo amplificato rispetto alla situazione esistente.

### 2.2.2 Basi di calcolo

Il codice di calcolo utilizzato per le simulazioni idrauliche (svolte a moto permanente per apprezzare l'effetto delle singolarità idrauliche presenti sul tracciato dei corsi d'acqua è HEC RAS 4.0). In realtà il modello idraulico è desunto dalla modellazione già svolta nell'ambito del già citato studio idraulico a

supporto dei progetti di “Sistemazione idraulica dei bacini e delle aste dei fossi Pila e Galea e relativi affluenti (Lotto Funzionale 1)”, presentato nell’anno 2004 e assunto dal Piano di Bacino come approfondimenti del Quadro Conoscitivo. Infatti, lo stato dei luoghi non è stato significativamente modificato rispetto a tale scenario che quindi può essere ripreso per la valutazione del reticolo idraulico.

Nel modello, la morfologia dei corsi d’acqua è stata riprodotta attraverso l’implementazione, sul codice di calcolo citato, delle sezioni dei corsi d’acqua rilevate. I rilievi topografici utilizzati per la costruzione del modello idraulico sono stati realizzati dal geom. Frangioni e dal geom. Sani, nell’anno 2004. L’ubicazione delle sezioni di rilievo è riportata nell’elaborato grafico TAV C.1.

I corsi d’acqua sono stati riprodotti attraverso la geometria delle sezioni rilevate (mediante la definizione delle coordinate dei vertici del contorno dell’alveo rispetto a un fissato sistema di riferimento), la loro distanza e con l’indicazione dei coefficienti di scabrezza delle superfici dell’alveo. In particolare sono stati adottati coefficienti di Manning variabili tra  $0.03 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$  (per i tratti ove è presente erba, terreno naturale) e  $0.02 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$  (dove sono presenti pareti particolarmente scabre, per esempio in cemento o in muratura in buono stato di manutenzione), sulla base delle indicazioni presenti in letteratura. Infine sono state implementate le opere d’arte e le singolarità presenti lungo il tracciato del corso d’acqua, come ponti, tombamenti o salti di fondo.

Il codice di calcolo Hec - Ras impone di individuare per ogni sezione l’ascissa limite sulla sponda destra e sulla sponda sinistra dei vertici (“levees”) che hanno ordinata di valore maggiore. Se in un certo tratto la sezione del corso d’acqua non è sufficiente al deflusso di una determinata portata il livello del pelo libero viene calcolato dal programma come se ci fossero due paramenti verticali nei punti di ascissa limite. Il profilo liquido risulta in questo modo altimetricamente superiore a quello reale, perché in tale condizione non appena si supera la quota del rilevato arginale si ha l’esondazione del corso d’acqua e gli argini funzionano come sfioratori laterali provocando il deflusso con un battente molto inferiore a quello rilevato dai risultati del modello. Dunque tale modellazione risulta svolta in termini cautelativi.

Nei corsi d’acqua del modello è stato simulato il deflusso delle portate aventi tempo di ritorno 200 e 30 anni, tempi indicati come riferimento per la valutazione della pericolosità idraulica dall’articolo 24 delle Norme di Piano del PAI precedentemente citato. Oltre alle portate di cui sopra, è stato simulato il deflusso di varie portate all’interno dell’asta, in modo tale da poter definire una scala di deflusso e di conseguenza poter definire le portate limite contenute all’interno dell’alveo in tutti i tratti del corso d’acqua (in modo da poter determinare l’input della modellazione bidimensionale delle esondazioni).

Del modello, che si riferisce alla globalità del reticolo (formato dalla Pila e dalla Galea e dai loro principali affluenti – Fosso Forcioni, Fosso Filetto e Fosso Segagnana), si riporta in questa sede uno stralcio che riguarda i tratti significativi precedentemente citati. Per la consultazione del modello globale si rimanda alle copie dello studio idraulico allegato al progetto [2].

### **2.2.3 Considerazioni sul trasporto solido**

La problematica del trasporto solido è stata analizzata nell’ambito dello studio idraulico allegato agli interventi idraulici di messa in sicurezza precedentemente citati [2], all’interno dei quali si affermava che non erano da segnalarsi particolari fenomeni di sovralluvionamento. Tale assunzione, confermata peraltro da riscontri sul reticolo idraulico nel passato decennio nel corso del quale sono avvenuti eventi meteorici piuttosto importanti, è stata avallata dagli Enti Competenti, che hanno ufficialmente accolto gli studi idraulici citati come approfondimento del quadro conoscitivo esistente.



### 2.2.4 Risultati delle modellazioni

I risultati dello studio condotto si possono esaminare negli allegati idraulici. In generale, sono da ritenersi insufficienti quelle sezioni per le quali i livelli liquidi sono tali da non permettere il deflusso all'interno degli argini o del livello piano di campagna per le sezioni incassate. Per la lettura dei profili longitudinali forniti da HEC-RAS si tenga presente che:

- La linea nera continua rappresenta il fondo del corso d'acqua;
- Le linee colorate continue rappresentano i profili liquidi al passaggio del colmo della piena simulata;
- Le linee a tratto indicano le sommità dei rilevati arginali posti in destra e sinistra idrografica (che il codice di calcolo indica con "LOB" e "ROB", acronimi che stanno per le locuzioni anglosassoni Left Over Bank e Right Over Bank). Le quote di questi elementi sono state definite al momento dell'implementazione delle sezioni.

In sostanza si evidenzia quanto segue:

- Il fosso della Pila presenta una criticità in relazione sia alla piena duecentennale, sia alla piena trentennale, in corrispondenza di una serie di attraversamenti posti a cavallo delle sezioni 1020 – 1010. Le fuoriuscite riguardano sia la sinistra che la destra idraulica, in quanto gli argini dei paramenti spondali hanno all'incirca la stessa quota; a valle di tale zona e fino a circa 400 m a valle rispetto al lotto in esame, le piene idrologiche simulate risultano contenute all'interno dell'alveo
- Il fosso Forcioni presenta due criticità: la prima è ubicata in prossimità di un attraversamento secondario alla sezione n. 18 e riguarda sia il fenomeno trentennale che il duecentennale; la seconda, in prossimità della confluenza con il fosso Galea, si riferisce solo alla piena duecentennale. In entrambi i casi, le criticità provocano fuoriuscite sia in sinistra che in destra idraulica, in quanto gli argini dei paramenti spondali hanno all'incirca la stessa quota
- Il fosso Galea ha una criticità nei pressi della sezione n. 20, dove non risultano contenute all'interno dell'alveo né la piena trentennale né quella duecentennale; in questo caso, tuttavia, l'argine in destra idraulica (ovvero il lato verso l'aeroporto) risulta molto più basso rispetto al lato opposto e ciò fa presupporre che le fuoriuscite avvengano soltanto da tale parte.

Nell'immagine successiva si rappresenta un'ortofoto con indicazione delle esondazioni

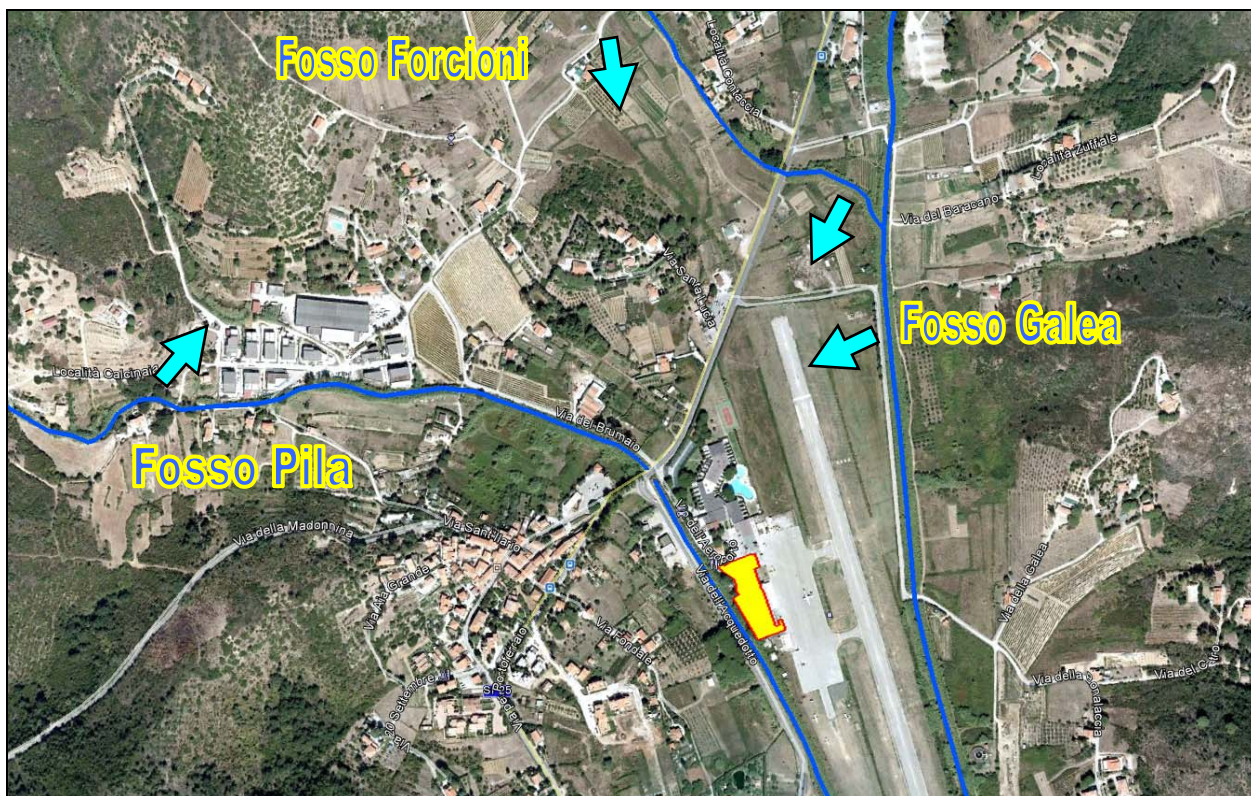


Figura 2.1 – Ortofoto con indicazione delle criticità del reticolo idraulico

## 2.3 Studio delle esondazioni

### 2.3.1 Generalità

Lo studio idraulico delle esondazioni per la valutazione delle aree allagabili per i tempi di ritorno di interesse tecnico, al fine di determinare le condizioni di pericolosità idraulica nella zona del lotto e per quantificare i principali parametri dei fenomeni alluvionali (altezza del battente e velocità), in modo da poter poi eventualmente dimensionare gli interventi di autosicurezza.

Si fa presente che lo studio idraulico è realizzato per la valutazione ad hoc della pericolosità nella zona aeroportuale, tramite il dettaglio della caratterizzazione del piano campagna nell'area e l'assunzione di ipotesi cautelative per la stima delle esondazioni solo in tale zona.

### 2.3.2 Basi di calcolo

Per la modellazione della dinamica esondativa è stato utilizzato il codice di calcolo FLO-2D. Si è simulato il deflusso dei volumi liquidi esondati sul piano di campagna adiacente, schematizzato con un sistema di celle quadrate. Il modello costruito per la propagazione delle esondazioni sul territorio è bidimensionale e a moto vario.

Il codice di calcolo utilizzato è riportato nella lista dei programmi di calcolo approvati dall'ente statunitense FEMA (Federal Emergency Management Agency) sia per quanto riguarda la modellazione fluviale, sia per quanto riguarda la modellazione bidimensionale (moto vario) di onde di piena su piano di campagna. E' stato largamente utilizzato da varie agenzie federali degli Stati Uniti, tra i quali si mette in evidenza il Corps of Engineers, e in altri paesi di tutto il mondo.

Il codice di calcolo Flo-2D è basato sulla conservazione del volume e simula il deflusso di un certo idrogramma lungo una superficie discretizzata in celle quadrate che rappresentano il piano di campagna su

cui ha luogo l'esondazione. Lo sviluppo dell'onda di piena è governato dalla morfologia del territorio e dalla resistenza al deflusso.

Le equazioni che stanno alla base del modello sono l'equazione di continuità e l'equazione di moto vario (dette anche equazioni di De Saint Venant)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h V_x}{\partial x} = i$$

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial t}$$

in cui i termini sono i seguenti

- h Altezza idraulica
- $V_x$  Velocità media nella direzione x
- i Intensità della pioggia efficace
- $S_{fx}$  Pendenza della linea dell'energia
- $S_{ox}$  Pendenza del fondo
- g Accelerazione di gravità

Le equazioni sopra citate sono risolte calcolando la velocità media attraverso il limite di una cella prendendo in considerazione una direzione per volta; il programma considera 8 potenziali direzioni di deflusso per ogni cella, le quattro cardinali (Nord, Sud, Est, Ovest) e le quattro diagonali (Nord-Ovest, Nord-Est, Sud-Ovest, Sud-Est). Per ogni direzione il calcolo si svolge in modo indipendentemente dalle altre, componendo i moti parziali in un moto globale; il risultato è un'analisi bidimensionale che tiene conto della conservazione del volume. Chiaramente per la risoluzione delle equazioni sopra riportate, il programma segue un processo alle differenze finite.

Il coefficiente di scabrezza della superficie su cui avviene l'esondazione è stato fissato (molto cautelativamente pari a  $n = 0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ , valore plausibile per il territorio analizzato. In favore di sicurezza è stata trascurata la capacità di assorbimento del terreno dovuta all'infiltrazione.

Il fenomeno esondativo è suddiviso in vari step temporali, ognuno dei quali è risolto iterativamente fino a convergenza: le iterazioni si arrestano quando sono soddisfatti i controlli sulla stabilità del calcolo ed è verificata l'equazione di conservazione del volume.

### 2.3.3 Morfologia del terreno

La morfologia del territorio è stata modellata attribuendo a ciascuna cella l'altezza del suolo e la scabrezza della superficie. Sono stati costruiti tre modelli digitali del terreno (Digital Terrain Elevation) per assegnare l'altezza alle celle del modello:

- Il primo si è basato sui dati di altezza del DTM realizzato dall'ufficio cartografico della Regione Toscana, che fornisce una maglia di punti ad interasse 10 metri sulla base dei dati orografici della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000. Tale modello, per analizzare su scala macroscopica il fenomeno esondativo, è stato utilizzato per la realizzazione di una griglia con celle di lato 20x20m
- Il secondo si è basato sulle curve di livello della Carta Tecnica Regionale in scala 1:2.000 forniti (in formato shape file) dall'Ufficio Cartografico della Regione Toscana ed è dunque un dato più



dettagliato del precedente. Tale informazione morfologica è stata utilizzata per costruire un modello di dettaglio relativo alla sola zona aeroportuale, con celle di lato 10x10

- Il terzo assume come riferimento le sezioni di rilievo del progetto di *“Riqualificazione delle infrastrutture di volo dell'aeroporto di Marina di Campo – Isola d'Elba”* realizzate nell'anno 2010 per la realizzazione del progetto stesso. Come il secondo modello, tale informazione morfologica è stata utilizzata per costruire un modello di dettaglio relativo alla sola zona aeroportuale, con celle di lato 10x10

In sostanza, con il primo DTM si è realizzato un modello generale che seguisse tutta la dinamica esondativa, a partire dai punti di criticità; in tale modello sono state poste delle sezioni di controllo subito a monte dell'aeroporto, in modo tale da poter definire gli idrogrammi che investono l'area in esame. Tali dati sono stati poi inseriti nei modelli di dettaglio, realizzati sulla base degli altri DTM, in modo da analizzare nel dettaglio il deflusso delle acque all'interno del sedime aeroportuale. In generale, nel seguito della relazione e negli elaborati grafici si impiegheranno le seguenti denominazioni:

- **Modello globale:** modello realizzato sulla base del DTM in scala 1:10.000 della Regione Toscana, con celle di lato 20x20 e con portate di esondazione definite a partire dai punti di esondazione dei corsi d'acqua esaminati;
- **Modello di dettaglio 1:** modello realizzato sulla base delle curve della Carta Tecnica Regionale in scala 1:2.000 e relativo alla sola zona aeroportuale, con ingressi di portata assegnati sulla base degli idrogrammi calcolati in relazione alle sezioni di controllo subito a monte del lotto in esame nel Modello globale;
- **Modello di dettaglio 2:** modello realizzato sulla base delle sezioni di rilievo del progetto di *“Riqualificazione delle infrastrutture di volo dell'aeroporto di Marina di Campo – Isola d'Elba”* e relativo alla sola zona aeroportuale, con ingressi di portata assegnati sulla base degli idrogrammi calcolati in relazione alle sezioni di controllo subito a monte del lotto in esame nel Modello globale

I limiti del dominio di calcolo sono stati posti in corrispondenza subito a monte delle uscite del modello e in corrispondenza dei corsi d'acqua Pila e Galea che, con i loro rilevati arginali, costituiscono un limite ben preciso dell'esondazione.

### 2.3.4 Ingressi ed uscite di portata dal modello

Scendendo nel dettaglio, gli ingressi di portata nel modello del terreno (in sostanza le fuoriuscite dagli alvei verso la campagna) sono stati inseriti in corrispondenza dei punti di crisi del reticolo idraulico: a tali criticità idrauliche, definite attraverso il modello della rete idraulica, si è associato un idrogramma di uscita di portata dall'alveo/ingresso di portata nella campagna. Si ribadisce il fatto che, in linea con il documento redatto dall'Autorità di Bacino Toscana Costa *“Adempimenti attuativi del PAI di cui all'art 25 delle Norme – Criteri per la valutazione di proposte di modifica delle aree a pericolosità idraulica elevata e molto elevata presentate da Enti Locali o proposte dalla Segreteria Tecnica Operativa”*, nell'ambito delle simulazioni idrauliche delle esondazioni non si è tenuto in conto delle laminazioni di portata che avvengono lungo il corso d'acqua per effetto delle fuoriuscite che avvengono a monte. In termini prudenziali, pertanto, le fuoriuscite di portata sono state valutate in relazione agli idrogrammi idrologici.

L'ubicazione delle criticità idrauliche (già descritte in precedenza) è riportata nella tavola C.1. La portata limite contenuta all'interno dei corsi d'acqua nelle sezioni critiche è di seguito riportata.

Corso d'acqua	Sez riferimento	Lato	Q idr Tr 30	Q idr Tr 200	Q lim	Q es Tr 30	Q es Tr 200
Pila	1012	Sx e Dx	13.65	23.09	2.24	11.41	20.85
Forcioni	18	Sx e Dx	7.04	12.27	2.38	4.66	9.89
Forcioni	3	Sx e Dx	7.04	12.27	7.14	0	5.13
Galea	20	Dx	23.36	40.57	15.75	7.61	24.82

Tabella 2.1 – Specchietto delle criticità del reticolo: nella colonna lato si legge il quale la direzioni dell'esondazione (Dx= destra idraulica, Sx= sinistra idraulica),  $Q$  idr Tr 30 indica la portata idrologica di picco trentennale,  $Q$  idr Tr 200 indica la portata idrologica di picco duecentennale,  $Q_{lim}$  la portata limite per il tratto in esame,  $Q_{lim}$  Tr 30 indica la portata di picco dell'esondazione trentennale e  $Q_{lim}$  Tr 200 indica la portata di picco dell'esondazione duecentennale

Gli idrogrammi di esondazione sono definiti per sottrazione della portata limite contenuta dagli idrogrammi idrologici, secondo lo schema sotto riportato

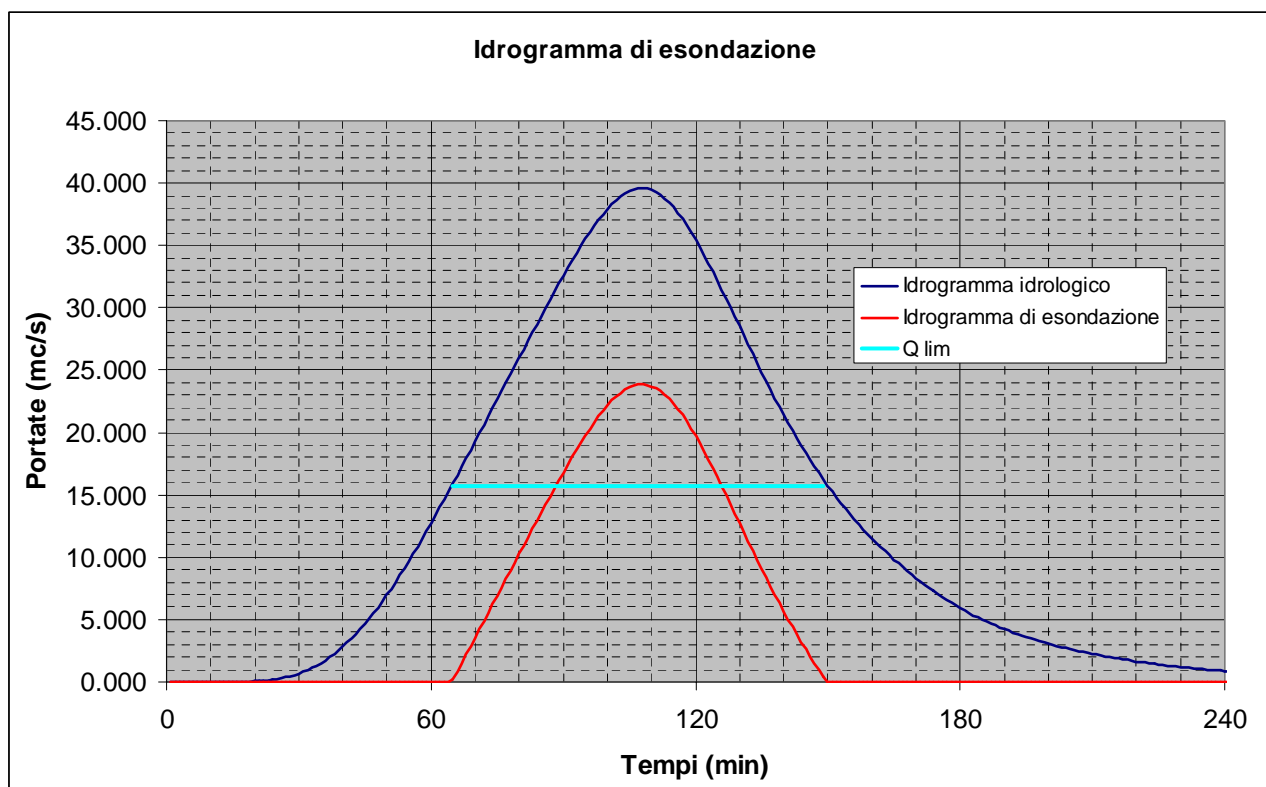


Figura 2.2 – Esempio di determinazione dell'idrogramma di esondazione a partire dall'idrogramma idrologico e dal valore della portata limite

Le uscite dal sistema sono rappresentate nel tratto terminale della zona Aeroportuale. Un'altra uscita, per quanto riguarda il fosso della Pila, è stata posizionata nelle celle subito a monte della zona aeroportuale in quanto in tale zona il corso d'acqua non è arginato e pertanto si possono verificare dei rientri di portata. L'acqua che in questa zona rientra all'interno del fosso non partecipa più all'esondazione in quanto il successivo tratto del corso d'acqua è idoneo al contenimento della piena duecentennale. Nelle immagini successive si riporta in dettaglio su ortofoto e in fotografia la zona in oggetto.





Figura 2.3 – Zona di possibili rientri liquidi all'interno del fosso Pila (indicato in rosso)



Figura 2.4 – Zona della Pila non arginata: eventuali volumi liquidi esondati provenienti da monte (a sinistra nella foto), possono rientrare in questo tratto all'interno del corso d'acqua, indicato in blu sullo sfondo



### 2.3.5 Elementi particolari

Nella modellazione sono stati introdotte anche i seguenti elementi, indispensabili per la caratterizzazione della dinamica alluvionale:

- LEVEE, che rappresentano degli ostacoli lineari che costituiscono degli impedimenti al flusso della corrente (rappresentati per esempio da rilevati di qualsiasi tipo o da manufatti come muretti)
- CHANNEL, che rappresentano i canali che possono fungere da collettori principali per il deflusso delle acque

I LEVEE sono stati inseriti in corrispondenza della strada provinciale n. 25 Anello Occidentale, nel tratto evidenziato in figura, in considerazione del fatto che tale infrastruttura è *in rilevato* rispetto al piano di campagna. Il rilievo della strada è stato compiuto per questo lavoro nel febbraio 2012 dallo “Studio di topografia Geom. Sani David & Geom. Grossi Laura Associati” di Lucca ed è riportato nella tavola C.1 e nella tavola C.2. Si evidenzia il fatto che il *rilevato stradale* è *alto mediamente 50 cm in più rispetto al piano di campagna*, con un minimo di 30 cm. Nella modellazione, a favore della sicurezza, si è ipotizzato che il rilevato avesse altezza uniforme pari a quella minima, limitando al massimo il volume liquido trattenuto a monte della zona aeroportuale.



Figura 2.5 – Rilevato della strada inserito nella modellazione idraulica



Figura 2.6 – Strada Provinciale n. 25, subito a monte dell'aeroporto



I CHANNEL sono stati inseriti per simulare l'effetto dei canali di scolo della pista. Ciò è stato operato soltanto nel Modello Globale, in quanto nei modelli di dettaglio tali elementi erano in parte già modellati con il dato di altezza delle celle del terreno.



Figura 2.7 – Canali interni all'aeroporto

### 2.3.6 Risultati delle esondazioni

I risultati delle esondazioni (riportati negli elaborati grafici C.3, C.4, C.5, C.6 e C.7) hanno manifestato quanto segue:

- **Modello Globale:** La zona oggetto dell'intervento è interessata da esondazioni per tempi di ritorno 200 anni, ma non da esondazioni trentennali. Le esondazioni che si verificano in relazione al fosso Pila non gravano sulla zona in esame in quanto rientrano completamente all'interno del corso d'acqua nel tratto subito a monte dell'aerostazione. Viceversa, le esondazioni che interessano la zona aeroportuale sono quelle generate dalle criticità relative alla parte orientale dell'aeroporto (quella opposta al lato dell'intervento) e sono legate dunque alle insufficienze dei corsi d'acqua Forcioni e Galea. Per esondazioni trentennali, il deflusso interessa solo la parte Est dell'aeroporto, in ragione della conformazione a schiena d'asino del lotto, con asse coincidente con l'asse della pista (e peraltro solo nella parte a monte, per effetto del drenaggio garantito dai canali di scolo dell'aeroporto); per esondazioni duecentennali e dunque di maggiori entità, viene interessata anche la parte Ovest dell'aeroporto, dove si trova l'intervento in esame. L'entità degli allagamenti previsti sul lotto in esame è di circa 30 cm; i battenti di esondazione sono di natura dinamica in quanto non si verificano ristagni (le velocità di deflusso sono quasi sempre inferiori a 1m/s). Nell'ambito della modellazione sono state inoltre definite delle sezioni di controllo a monte della zona di intervento, in corrispondenza delle quali sono state definite gli idrogrammi passanti attraverso esse nel corso dell'esondazione. Tali dati saranno utilizzati, come già accennato in precedenza, come idrogrammi di ingresso nei modelli di dettaglio della zona aeroportuale;



- Modello di Dettaglio 1: il modello, costruito come già accennato in precedenza sulla base delle curve di livello della Cartografia Regionale Toscana in scala 1:2.000 mostra risultati simili ai precedenti. In sostanza la piena duecentennale interessa tutta la zona dell'aeroporto ad eccezione di zone di "alto morfologico" molto limitate; viceversa, la piena trentennale interessa principalmente la zona Est dell'aeroporto nella parte alta e la zona Ovest nella parte bassa (situazione confermata dalla presenza di un canale che segue tale direzione nella parte bassa dell'aeroporto). Il lotto, in accordo con le stime del Modello Globale, è interessato da esondazioni duecentennali ma non da esondazioni trentennali. L'affinamento del modello produce un maggiore dettaglio dei battenti che, per quanto riguarda il fenomeno duecentennale, sono di circa 15 cm.
- Modello di Dettaglio 2: il modello, costruito come già accennato in precedenza sulla base delle sezioni di rilievo eseguite nell'ambito del progetto di "Riqualificazione delle infrastrutture di volo dell'aeroporto di Marina di Campo – Isola d'Elba" realizzate nell'anno 2010, e confermate dai rilievi effettuati all'uopo nel febbraio 2012, mostra risultati simili a quelli precedentemente descritti. In questo caso la piena duecentennale interessa tutta la zona dell'aeroporto ad eccezione di zone di "alto morfologico" molto limitate. Rispetto al modello di dettaglio 1, cambia la situazione relativa al fenomeno trentennale, nell'ambito del quale il modello di Dettaglio 2 indica che le sole zone interessate da esondazioni sono quelle del lato Est dell'aeroporto. L'entità dei battenti duecentennali è al massimo di 21 cm

### 3 EVIDENZE «SPERIMENTALI»: L'EVENTO ALLUVIONALE DEL 7 NOVEMBRE 2011

I risultati delle modellazioni proposte, in questo caso, trovano conferma nei fatti.

Il bacino in cui è previsto l'intervento per il quale è richiesta la concessione, lo scorso 7 novembre è stato sollecitato da un evento alluvionale che, almeno *ufficiosamente*, è da ritenere caratterizzato da tempo di ritorno maggiore di 200 anni, che ha colpito proprio il comune di Campo nell'Elba, con «epicentro» sullo spartiacque dei bacini del rio degli Alzi e dei fossi di Cavoli, distanti poco più di 1,5 km dalla sommità del bacino del fosso della Pila, il cui alveo delimita, in destra idraulica, il sedime aeroportuale.

Sul bacino in esame, nell'ambito dell'evento suddetto si è riscontrato quanto segue:

- Alla foce, dove la sezione è stata adeguata alla portata duecentennale "laminata" da una cassa di espansione naturale (che peraltro in tale occasione ha funzionato solo parzialmente, essendo già stato realizzato uno degli sfioratori di progetto) è transitata una portata almeno pari a quella di progetto per quel tratto;
- Il fosso Galea è stato interessato da un fenomeno di rottura arginale (dam break) in destra idraulica nella zona più sfavorevole possibile per la sicurezza dell'aerostazione (in Figura 3.1 è riportata la visione aerea della zona di dam break; in Figura 3.2 e Figura 3.3 si riportano le viste della zona di rottura viste sia dalla strada che dalla sommità arginale subito dopo la riparazione); le acque fuoriuscite da questa sezione hanno seguito pressoché esattamente le traiettorie ottenute con le simulazioni di dettaglio dei modelli 1 e 2, non interessando minimamente né l'area dell'aerostazione né quella dove si prevede la realizzazione dell'intervento per il quale si richiede la concessione edilizia, tanto che proprio in questa zona è stato organizzato il centro di raccolta per la popolazione del comune di Campo nell'Elba colpita dai danni dell'alluvione, con la distribuzione dei pasti e dei generi di vestiario in un locale ivi situato;

Quanto sopra porta quindi a concludere che, non solo l'area suddetta non è interessata da fenomeni duecentennali ma, nei fatti, nemmeno da quelli trentennali; è infatti indiscutibile che, anche supponendo di non attribuire il valore di duecentennale all'evento del 7.11.2011, l'evento avesse entità di gran lunga superiore al valore trentennale.

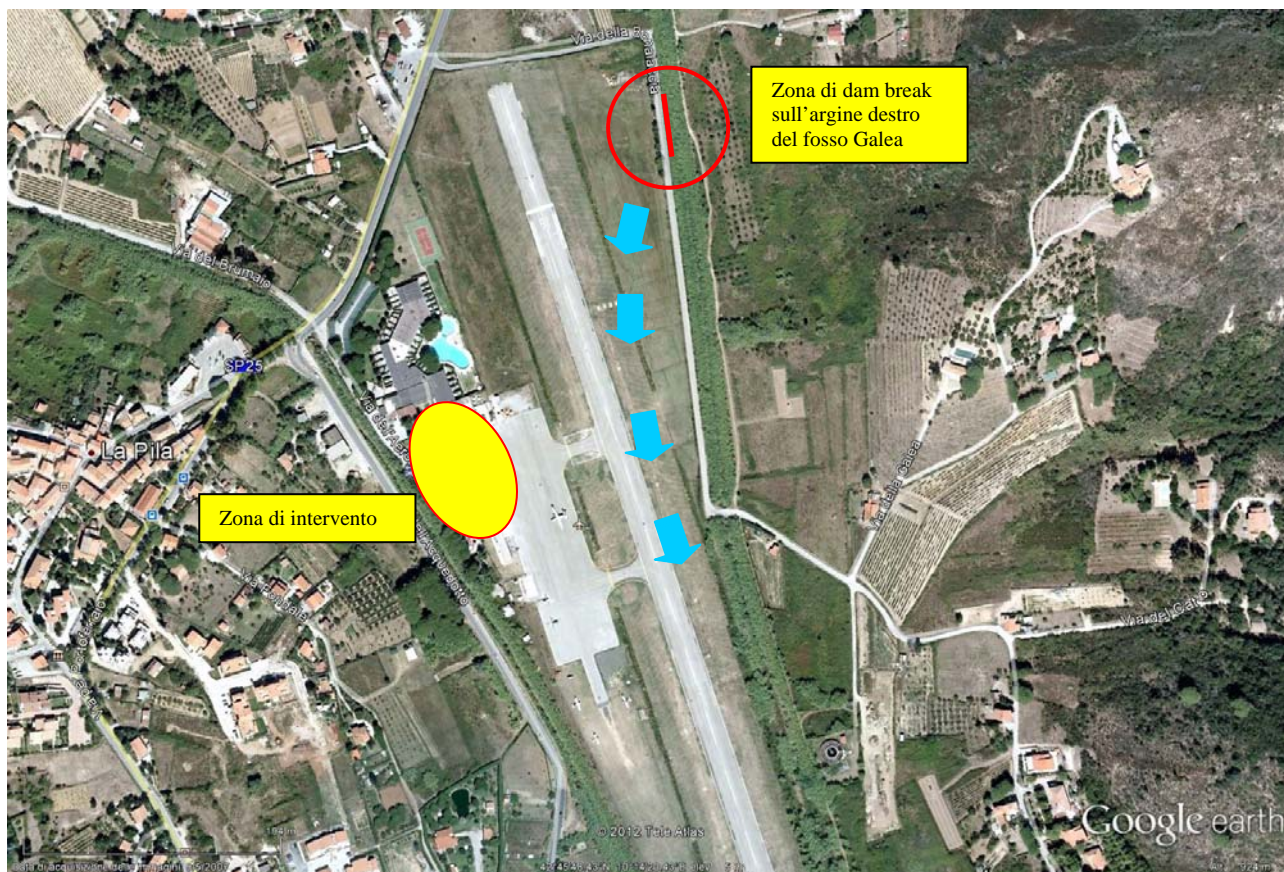


Figura 3.1 – Canali interni all'aeroporto





*Figura 3.2 – Il tratto di argine ripristinato dopo il «dam break» del 7.11.2011 visto dalla strada per la Bonalaccia*



*Figura 3.3 – Vista della zona aeroportuale dalla sommità dell'argine ripristinato dopo il «dam break» del 7.11.2011*



#### 4 PROPOSTA DI RICLASSIFICAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA

In considerazione dei risultati sopra descritti si ritiene opportuno utilizzare i risultati *maggiormente cautelativi* per la caratterizzazione della pericolosità idraulica della zona: come emerge dal confronto dei modelli, lo studio da ritenere maggiormente prudentiale è quello del Modello Globale; anche se basato su un modello del terreno meno raffinato rispetto agli altri (almeno per quanto riguarda la zona all'interno dell'aeroporto), dà luogo a battenti idraulici superiori e pertanto risulta maggiormente cautelativo.

Nel caso in esame, poi, le modellazioni di calcolo effettuate sono rafforzate e comprovate dall'evidenza dei fatti che costituisce la «prova sperimentale» e la validazione dei risultati ottenuti nelle calcolazioni e supporta l'istanza di riclassificazione dell'area almeno in classe P. I. E., come evidenziato nel paragrafo 3 della presente relazione.

Pertanto, sulla base delle indicazioni del Modello Globale e delle indicazioni dell'articolo 24 delle Norme di Piano del PAI citato, si individuano due zone:

- Un area a pericolosità idraulica molto elevata (PIME) in corrispondenza delle aree interessate da allagamenti con tempo di ritorno 30 anni
- Un'area interessata da pericolosità idraulica elevata (PIE) nelle aree non interessate da allagamenti trentennali ma caratterizzata da esondazioni per tempi di ritorno 200 anni

Il lotto in esame ricade in area a pericolosità idraulica elevata, come si desume dall'elaborato grafico TAV C.8.

## 5 CONCLUSIONI

Gli studi effettuati, con riferimento a più scenari di modellazione verificati anche attraverso rilievi topografici effettuati all'uopo, confermano che l'area oggetto di intervento, è da classificare quanto meno e in tutta cautela «a pericolosità idraulica elevata» e che pertanto sussistono le condizioni per la sua riclassificazione; ciò è possibile *sia* sulla base delle conclusioni raggiunte nel presente studio (che sono coerenti con lo Studio Idrologico idraulico a supporto del progetto per la sistemazione dei fossi Pila e Galea, che ne costituisce premessa, già valutato positivamente rispetto ai criteri ed agli obiettivi del Piano acquisiti dal Bacino Toscana Costa e assunto nel quadro conoscitivo di Bacino nel 2004) *sia* sulla base delle «evidenze sperimentali» connesse con l'evento del 7.11.2011, in occasione del quale proprio in quell'area è stata utilizzata come centro di raccolta per la popolazione colpita dall'alluvione.

Se ne conclude, quindi, che l'area oggetto di intervento può essere riclassificata, cautelativamente, a pericolosità idraulica elevata e che pertanto, una volta ultimato il relativo procedimento, si possa riacquisire il titolo a costruire di cui alla concessione n. 74 del 2002 del Comune di Campo nell'Elba, decaduto per decorrenza dei termini e non ad oggi rinnovabile per gli effetti della L. R. n. 66 del 2011.