

PROGETTO N° A11002-D

AUTOSTRAD E SESTRI LEVANTE – LIVORNO
con diramazione VIAREGGIO – LUCCA e FORNOLA – LA SPEZIA

ALLARGAMENTO A TRE CORSIE NEL TRATTO
S.STEFANO MAGRA – VIAREGGIO

Gruppo S.I.A.S. S.p.A.

NUOVO SVINCOLO A12 - S.S.1 VIA AURELIA SUD
LOCALITA' CIMITERO DI STAGNO
COMUNE DI PISA

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE:



Ing. Enrico Ghislandi
Iscritto Albo Ingegneri
Prov. di Milano n°A 16993

CONSULENZA PROGETTAZIONE:



Ing. David Settesoldi
PHYSIS srl
Via Bonifacio Lupi, 1
50127 Firenze

EM./RE.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTR.	APPROV.
0	05-05-2011	Prima Emissione	F. Canovaro	D. Settesoldi	E. Ghislandi

STUDI E INDAGINI
STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

CODICE IDENTIFICATIVO: 01_CI_RH_01

Scala: -



società autostrada ligure toscana P.A.
AMMINISTRATORE DELEGATO

(Dott. Ing. Paolo Pierantoni)



Sede sociale:
55041 Lido di Camaiore (LU)
via Don Enrico Tazzoli 9
Casella postale 56

Telefono: 0584-9091
Telefax: 0584-909300/319
E-mail: salt@salt.it
www.salt.it

Capitale sociale
€ 120.000.000
interamente versato

Codice Fiscale - P.IVA e
n. Iscr. Registro Imprese Lucca
00140570466

SALT
SOCIETA' AUTOSTRADA LIGURE TOSCANA p.a.

**NUOVO SVINCOLO A12 - S.S.1 VIA AURELIA SUD
LOCALITA' CIMITERO DI STAGNO
COMUNE DI PISA**

PROGETTO DEFINITIVO

STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

RELAZIONE IDROLOGICA

						
0	05/05/2011	Prima emissione	F. Canovaro	D. Settesoldi	E. Ghislandi	
Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato	
Attività:			Documento: 01_CI_RH_02.doc			

INDICE

1. PREMESSA	2
2. IL QUADRO CONOSCITIVO	3
3. INQUADRAMENTO DELL'AREA	5
3.1. LA PERICOLOSITA IDRAULICA	5
3.2. IL RETICOLO IDROGRAFICO	5
3.3. LE PROBLEMATICHE DI RISTAGNO E DI INONDAZIONE	6
3.4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	6
4. VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA	8
4.1. I RILIEVI TOPOGRAFICI	8
4.2. ANALISI IDROLOGICA	8
4.3. LA CONFIGURAZIONE DI VERIFICA	11
4.4. IL MODELLO A FONDO MOBILE	12
4.5. RISULTATI DELLA VERIFICA	13
5. VERIFICA DELLA COMPATIBILITA' IDRAULICA	14
5.1. LA MESSA IN SICUREZZA DELLO SVINCOLO	14
5.2. GLI INTERVENTI DI COMPENSAZIONE	14
6. INVARIANZA IDRAULICA	16
6.1. IL METODO DI CALCOLO	16
6.2. LE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA	16
6.3. CALCOLO DELLA INVARIANZA IDRAULICA	17
7. CONCLUSIONI	18

1. PREMESSA

La presente relazione è finalizzata sia alla verifica di non allagabilità del nuovo svincolo per eventi con tempo di ritorno duecentennale, sia alla verifica del mantenimento dell'*invarianza idraulica* in seguito all'intervento di realizzazione del nuovo svincolo A12-S.S.1 Aurelia Sud in località Cimitero di Stagno.

Le condizioni di allagabilità dell'area sono state valutate in riferimento alle esondazioni della fossa Chiara. E' stato inoltre verificato che le esondazioni provenienti dal fiume Arno non raggiungono l'area di intervento.

La messa in sicurezza del nuovo svincolo in caso di evento duecentennale, stanti gli esigui volumi in gioco, si ottiene attraverso la realizzazione di un fosso di guardia di dimensioni opportune, posto in perimetro alle nuove corsie stradali lato fossa Chiara, collegato tramite tombini ad una area di compensazione realizzata sfruttando le aree intercluse poste all'interno della nuova viabilità.

La stessa area di compensazione provvederà a compensare i maggiori deflussi provenienti dall'area dello svincolo dovuti all'impermeabilizzazione del territorio circostante, al fine di mantenere l'invarianza idraulica della zona.

2. IL QUADRO CONOSCITIVO

Lo studio principale è quello relativo alla valutazione delle aree inondabili del fiume Arno redatto a supporto del Piano di Assetto Idrogeologico. Tale studio valuta la pericolosità idraulica nell'area di intervento dovuta alle esondazioni del fiume Arno.

Per il sistema costituito dal canale Scolmatore d'Arno e dai suoi affluenti sono disponibili i seguenti studi:

- “Studio idrologico ed idraulico per la messa in sicurezza dell'area industriale in località ponte biscottino nel comune di Collesalveti” finalizzato alla messa in sicurezza di un'area posta tra la fossa Chiara e l'emissario del canale di Bientina;
- “Studio idrologico e idraulico per la valutazione degli interventi di messa in sicurezza di un'area in località “Il Faldo” nel comune di Collesalveti” finalizzato alla definizione degli interventi di messa in sicurezza dell'Autoparco il Faldo;
- “Valutazione della pericolosità idraulica nell'area per stoccaggio auto in località “Il Faldo” finalizzato alla valutazione della pericolosità idraulica dell'area ove ha sede l'Autoparco del Faldo, nel comune di Collesalveti”;
- “Studio idrologico e idraulico a supporto dell'ampliamento dell'autoparco “Il Faldo” nel comune di Collesalveti” finalizzato a valutare la fattibilità dell'ampliamento dell'autoparco.

I suddetti studi sono relativi allo Scolmatore d'Arno, alla fossa Nuova e l'Emissario di Bientina e alla fossa Chiara. La valutazione del rischio idraulico è affrontata in modo unitario considerando tutti i corsi d'acqua presenti nella zona con una modellazione in moto vario. Nell'ultimo studio alla modellazione in moto vario viene associata anche una modellazione a fondo mobile per valutare le modalità di demolizione della barra di foce e la dinamica del fondo del Canale Scolmatore.

Sempre nell'ultimo studio vengono inoltre recepiti i risultati del progetto preliminare redatto per gli interventi della prima fase dell'Accordo di Programma per la progettazione dello sviluppo dell'area costiera Pisa – Livorno sottoscritto l'11 gennaio 2007.

Tale Accordo di Programma persegue i seguenti obiettivi:

- Difesa a mare dell'arenile di Calambrone;

- Adeguamento dello sbocco a mare del Canale dei Navicelli e dello Scolmatore d'Arno e accessibilità al porto di Livorno;
- La navigabilità dello Scolmatore dalla foce fino al Faldo, con l'esclusione di qualsiasi funzione a carattere turistico-diportistica;
- Garantire la piena funzionalità dello Scolmatore dell'Arno quale difesa idraulica per Pisa tenendo conto delle problematiche connesse alla messa in sicurezza idraulica del reticolo degli affluenti allo Scolmatore in ambito territoriale della Provincia di Livorno.

Nell'ambito di tale progetto l'Università degli Studi di Firenze ha condotto delle verifiche a fondo mobile sul canale Scolmatore per valutare la dinamica della barra di foce.

Da quest'ultimo studio sono state acquisite le sezioni del Canale Scolmatore d'Arno.

3. INQUADRAMENTO DELL'AREA

3.1. LA PERICOLOSITA IDRAULICA

La pericolosità idraulica ai sensi del PAI è riportata nella Figura 3-1.

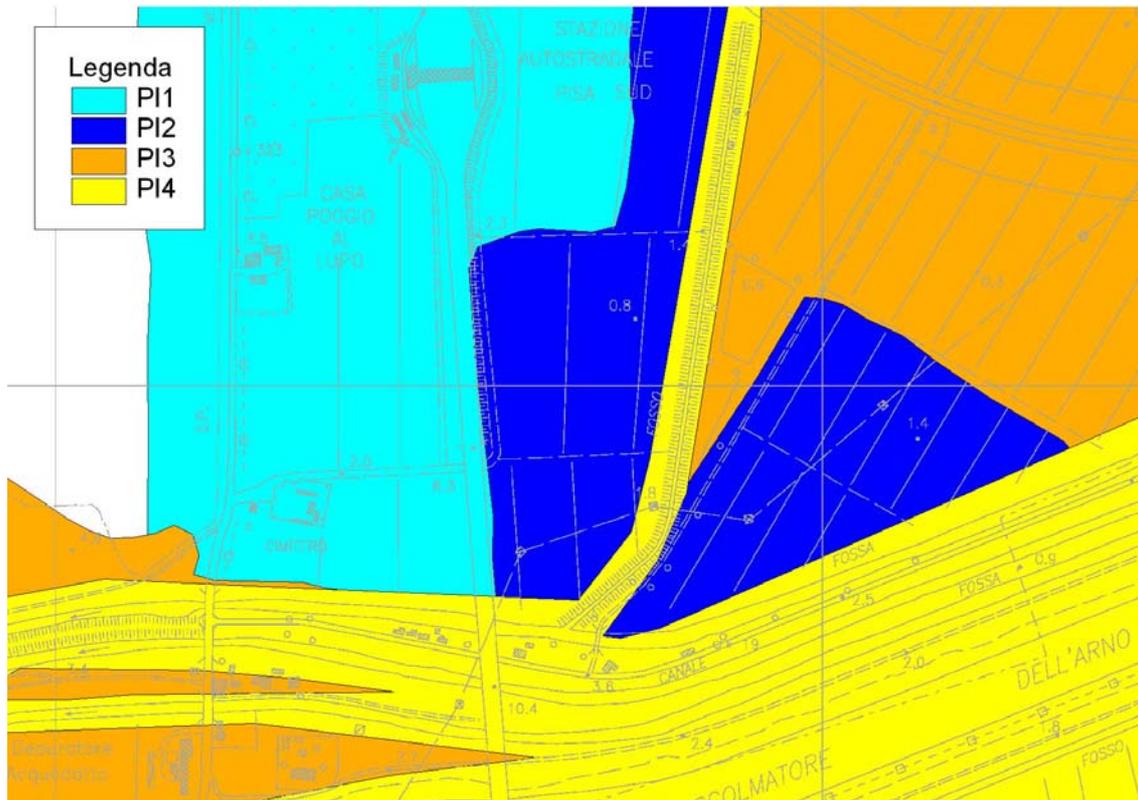


Figura 3-1- Pericolosità idraulica nell'area di intervento ai sensi del PAI

Si osservi che l'area di intervento ricade in parte in pericolosità PI1 e in parte in pericolosità PI2. Come vedremo in seguito tale livello di pericolosità è confermato anche dalle analisi condotte nell'ambito del presente studio.

3.2. IL RETICOLO IDROGRAFICO

Il reticolo idraulico dell'area in esame è costituito da una complessa rete di canali artificiali e corsi d'acqua naturali, che si immettono a varie altezze nello Scolmatore d'Arno.

Lo Scolmatore riceve in ingresso le portate sfiorate dall'Arno e il contributo del canale dell'Usciana. In sinistra idraulica lo Scolmatore riceve il contributo delle acque basse della rete di bonifica, dell'Antifossetto delle Acque Chiare e del

Fosso dell'Acqua Salsa, e il contributo delle acque alte provenienti dai bacini collinari del Tora, del Crespina, dell'Orcina, dell'Isola.

In destra idraulica lo Scolmatore riceve il contributo della Fossa Nuova, dell'Emissario di Bientina e della Fossa Chiara. A est dell'area di intervento nella fossa Chiara afferisce il fosso dei Navicelli.

Nella Tavola 01_ID_IH_02 si riporta lo schema complessivo della rete di scolo sulla quale sono state condotte le verifiche idrauliche.

3.3. LE PROBLEMATICHE DI RISTAGNO E DI INONDAZIONE

L'intera area presa in esame per le sue caratteristiche può andare incontro a fenomeni sia di ristagno e di inondazione.

Il rischio idraulico nell'area di intervento è dato in primo luogo dalla possibilità di esondazioni della Fossa Chiara in destra idraulica e del fosso dei Navicelli sempre in destra idraulica.

Il rischio idraulico nell'area potrebbe inoltre essere determinato anche da esondazione dell'Emissario di Bientina e dello Scolmatore d'Arno, con il conseguente aggravio dello smaltimento anche della fossa Chiara.

Si osserva inoltre che la fossa Chiara in quanto canale di acque basse risente potenzialmente del rigurgito indotto dal suo recettore lo Scolmatore dell'Arno.

3.4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento è riportato nella Figura 3-2 si riporta la planimetria dell'intervento previsto.

Da un punto di vista idraulico le problematiche possono essere così sintetizzate:

- l'area oggetto di intervento è collocata al margine della duna costiera;
- l'area oggetto di intervento è collocata all'interno di una rete di bonifica in sponda destra della fossa Chiara;
- il deflusso delle acque dall'area in esame è dipendente dai livelli presenti nello Scolmatore d'Arno.

Per quanto riguarda l'area di interesse si osservi che essa presenta quote comprese tra 0.5 m s.l.m. e 1.0 m s.l.m. Le acque della zona di intervento sono drenate verso la il fosso dei Navicelli dal una serie di fossi campestri.

Nella Tavola 01_ID_IH_03 si riporta la planimetria dell'intervento.

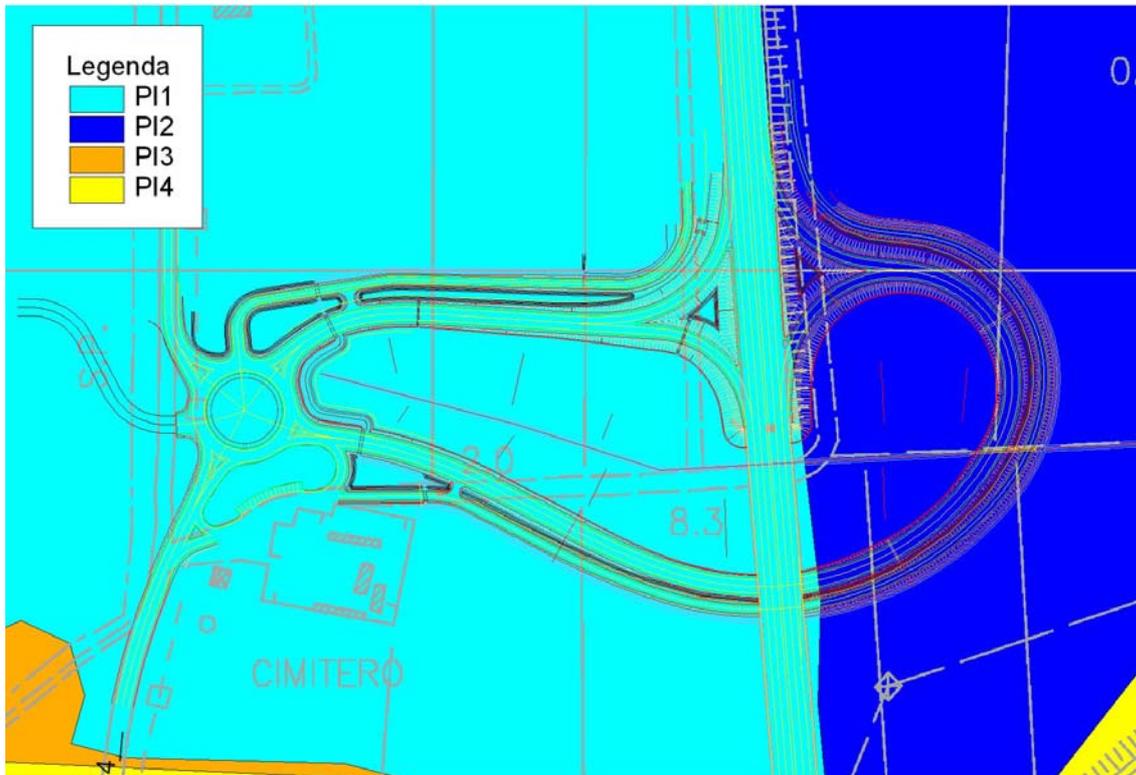


Figura 3-2 – Pericolosità idraulica nell'area di intervento ai sensi del PAI

4. VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

La valutazione della pericolosità idraulica è stata condotta sulla base della modellazione complessiva del sistema afferente al Canale Scolmatore condotta sulla base degli studi disponibili.

In particolare è stato utilizzato un modello in moto vario a fondo mobile con valutazione quasi - bidimensionale delle aree inondabili.

4.1. I RILIEVI TOPOGRAFICI

Le sezioni disponibili dagli studi precedenti sono le seguenti:

- 120 sezioni dello Scolmatore dell'Arno;
- 43 sezioni della Fossa Nuova;
- 47 sezioni del Canale Emissario di Bientina.
- 21 sezioni della Fossa Chiara.

Oltre alle sezioni rilevate sono state acquisite le sezioni del progetto di adeguamento dello Scolmatore alla portata di circa 1400 m³/s.

Nella Tavola 01_ID_IH_02 si riporta la planimetria delle sezioni disponibili.

4.2. ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica è finalizzata alla determinazione degli idrogrammi di piena dei diversi corsi d'acqua da inserire nel modello idraulico.

Sono stati valutati i contributi del bacino dei bacini del Bientina e del Fucecchio e i contributi dei sottobacini del comprensorio di bonifica Fiumi e Fossi.

Il tempo di corrivazione era stato calcolato con la formula di Ventura per i sottobacini del consorzio Fiumi e Fossi mentre per i bacini dell'Emissario di Bientina e dell'Usciana (Fucecchio) si era ritenuto più opportuno utilizzare la formula di Giandotti.

La Fossa Chiara riceve le acque della complessa rete di bonifica a scolo naturale e a scolo meccanico, compresa tra il canale stesso e l'argine sinistro dell'Arno. La Fossa Nuova riceve le acque delle aree a uso agricolo ricadenti dell'area compresa tra l'argine destro dello scolmatore e l'argine sinistro del Canale Emissario. L'Emissario di Bientina riceve il contributo della rete di bonifica delle acque basse compresa tra l'argine sinistro dell'Arno e il canale

Scolmatore, e il contributo proveniente dal bacino del Bientina, attraverso la botte sotto l'Arno, in corrispondenza della località S.Giovanni alla Vena.

Nella Tavola 01_ID_IH_01 sono riportati i bacini afferenti al sistema idraulico oggetto di studio.

La ricostruzione degli eventi per i vari tempi di ritorno nei vari Fossi di interesse è stata effettuata a partire dalla base dati del lavoro di Regionalizzazione delle Portate di Piena condotto dalla Regione Toscana e utilizzato anche dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno per l'analisi idrologica e idraulica finalizzata alla perimetrazione delle aree inondabili.

Tale metodo associa il tempo di ritorno di una generica portata al colmo a quello della pioggia critica che la produce; una volta calcolati i parametri delle curve di possibilità pluviometrica e quindi stimata l'intensità dell'evento di progetto, un modello di piena di tipo deterministico permette di ricostruire gli idrogrammi conseguenti alla corrispondente sollecitazione idrologica.

L'*input* meteorico è rappresentato da uno "ietogramma sintetico" la cui frequenza viene stimata a partire dalle curve di possibilità climatica ricavate con l'adattamento della TCEV [Regione Toscana, 1998].

L'area di influenza di ogni stazione pluviometrica con i limiti del bacino idrografico è stata determinata con il metodo dei topoi. Per la stima del coefficiente di ragguglio areale delle precipitazioni sul bacino (Kr) si fa ricorso alla formula dell'USWB come modificata in occasione del lavoro di regionalizzazione già menzionato.

Le curve di possibilità pluviometria per ciascuno dei sottobacini sono riportate nella Tabella 4-1.

Nome	a1	n1	m1	a	n	m
ISOLA	26,302	0,348	0,175	26,43	0,293	0,212
ORCINA	26,995	0,389	0,178	26,621	0,294	0,21
TORA	27,708	0,401	0,178	26,638	0,281	0,209
CRESPINA	25,668	0,312	0,175	26,175	0,291	0,212
ACQUA SALSA	29,269	0,424	0,18	27,762	0,285	0,214
ANTIFOSSETTO	27,245	0,388	0,179	26,72	0,289	0,208
BIENTINA1	24,897	0,426	0,17	23,555	0,323	0,198
BIENTINA2	26,02	0,285	0,201	25,864	0,334	0,18
CHIARA1	30,93	0,442	0,19	28,601	0,283	0,222
CHIARA2	30,69	0,405	0,183	28,747	0,269	0,217
CHIARA3	31,831	0,480	0,185	28,273	0,276	0,225
F_NUOVA	27.582	0.364	0.181	26.98	0.281	0.207
SOLAIOLA	27.582	0.364	0.181	26.98	0.281	0.207
NUOVA1	27.582	0.364	0.181	26.98	0.281	0.207
NUOVA2	27.582	0.364	0.181	26.98	0.281	0.207

NUOVA3	27.582	0.364	0.181	26.98	0.281	0.207
NUOVA4	27.582	0.364	0.181	26.98	0.281	0.207
NUOVA5	27.582	0.364	0.181	26.98	0.281	0.207
SCOLMATORE1	26,344	0,355	0,177	26,057	0,279	0,202
USCIANA	25,713	0,412	0,165	24,308	0,337	0,196

Tabella 4-1 – Parametri delle curve di possibilità pluviometrica di breve e lunga durata.

Le durate degli eventi presi in considerazione per la simulazione erano le stesse di quelle utilizzate nella verifica idraulica condotta dall’Autorità di Bacino del Fiume Arno per gli interventi del Piano di Bacino Stralcio Rischio Idraulico, da cui erano stati estratti i valori dell’idrogramma in ingresso nello Scolmatore, sfiorati dall’Arno: 3h, 6h, 12h, 18h, 24h, 36h.

Il modello idrologico utilizzato prevede una schematizzazione dei bacini a parametri concentrati. La trasformazione afflussi-deflussi avviene sulla base del cosiddetto *idrogramma istantaneo unitario (IUH)* cioè dell’idrogramma di piena causato da un evento impulsivo di pioggia di volume unitario e durata tendente a zero. Sotto le ipotesi di risposta lineare e stazionaria del bacino, l’idrogramma di piena viene calcolato come convoluzione dello ietogramma delle piogge nette (ietogramma efficace) nello IUH.

I parametri del modello sono riportati nella Tabella 4-2.

Nome bacino	Area	la	Ks	n	k
ISOLA	42,0	10,25	1,235	2,631	1,253
ORCINA	5,29	5,02	0	1,866	0,665
TORA	90,17	9,24	0,666	3,282	1,559
CRESPINA	34,46	7,41	0,026	2,315	1,17
ACQUA SALSA	22,24	9,67	0,3564	1	4,617
ANTIFOSSETTO	44,10	6,24	0,0138	1	8,143
BIENTINA1	316,09	12,69	0,136	2,5	3,726
BIENTINA2	8,33	3,63	0,01	1	3,632
CHIARA 1	35,15	10,66	0,026	1	14,641
CHIARA 2	2,34	5,62	0,01	1	2,846
CHIARA 3	18,87	3,97	0,393	1	16,220
F_NUOVA	9.93	3.3	0.01	1	8.379
SOLAIOLA	18.74	4.18	0.01	1	10.87
NUOVA1	1.99	3.3	0.01	1	6.398
NUOVA2	2.00	3.3	0.01	1	5.663
NUOVA3	1.89	3.3	0.01	1	4.684
NUOVA4	0.50	3.3	0.01	1	4.444
NUOVA5	1.07	3.3	0.01	1	4.002
SCOLMATORE 1	32,12	4,77	0,01	1	5,767
USCIANA	497,39	13,81	0,877	2,5	3,752

Tabella 4-2 – Parametri per il modello idrologico

La pioggia netta era stata ricavata a partire da uno ietogramma sintetico di progetto di intensità costante, considerando una capacità di ritenuta iniziale del terreno, I_a [mm] e una perdita durante l'evento, schematizzate con una velocità di infiltrazione a saturazione, K_s [mm/h].

I parametri di perdita di afflusso I_a e K_s erano stati regionalizzati in funzione, rispettivamente, dell'uso del suolo e dalla geologia dei bacini.

Per l'idrogramma istantaneo unitario era stata adottata la formulazione di Nash i cui due parametri n e k sono stati ricavati dai database di ALTO (stimati su base geomorfologica) per i corsi d'acqua Tora, Isola, Orcina, Crespina, per gli altri corsi d'acqua sono stati ricavati dai valori presenti in letteratura e sulla base dei tempi di corrivazione prima calcolati.

Il contributo delle aree a scolo meccanico era stato valutato sulla base della conoscenza della potenzialità delle idrovore presenti. Le idrovore considerate sono riportate nella Tabella 4-3.

Idrovora di Arnaccio	6000 l/s
Idrovora di Padulella	500 l/s
Idrovora di Ragnaione (Coltano)	13600 l/s
Idrovora di Vettola	3750 l/s
Idrovora di Calandrone	4500 l/s
Idrovora dell'Aeroporto	9000 l/s

Tabella 4-3 – Idrovore

4.3. LA CONFIGURAZIONE DI VERIFICA

La configurazione di verifica prevede che si verifichi un evento con fissato tempo di ritorno su tutto il bacino dell'Arno. In questo caso i contributi dei bacini sono stati valutati con un unico valore (per ciascuna durata) del coefficiente di ragguglio areale K_r ricavato in modo da mantenere la congruenza del volume complessivamente piovuto su un'area data dalla somma tra il bacino dell'Arno a monte dello Scolmatore e quello di tutti i sottobacini analizzati (Tabella 4-4).

durate [h]	K_r
3	0.701
6	0.762
12	0.820
18	0.851
24	0.871
36	0.897

Tabella 4-4 – Valori del coefficiente di ragguglio areale, per le varie durate

I contributi dell'Arno sono stati limitati in modo da limitare esondazioni dal Canale Scolmatore. Tale configurazione è giustificata dal fatto che negli eventi che si sono verificati fino ad oggi lo Scolmatore ha funzionato con portate variabili da 100mc/s a 880mc/s in condizione in cui le portate sfiorate sono state regolate attraverso il controllo manuale delle paratoie (anche se le paratoie sono regolate per aprirsi automaticamente quando la quota in Arno raggiunge i 16 m s.l.m.).

Le portate sfiorate dall'Arno sono state ridotte come sopra specificato mantenendo invariate le portate provenienti dal Canale dell'Usciana. Il contributo dell'Usciana stimato nelle verifiche condotte in questa sede risulta maggiore rispetto a quello valutato negli studi condotti dal Consorzio di Bonifica del Padule di Fucecchio. Si ritiene pertanto più significativo valutare a parità di portate defluenti nello Scolmatore il contributo dello sfioratore d'Arno come differenza con il contributi dell'Usciana valutati nello studio di Area Vasta come riportati nella Tabella 4-5. Se ne ricava lo sfioratore d'Arno potrebbe scaricare, in caso di apporti di pari tempo di ritorno dal Canale dell'Usciana, un portata di circa 500 mc/s.

	Studio Area Vasta	Configurazione 3	
	Usciana	Scolmatore	Sfioratore Arno
5	123	679	557
10	136	659	523
20	151	651	500
30	160	666	506
100	192	725	533
200	216	743	527
500	243	870	627

Tabella 4-5 – Contributi potenziali dello sfioratore d'Arno

4.4. IL MODELLO A FONDO MOBILE

Il modello a fondo mobile è stato implementato assumendo i valori granulometrici per i diversi tratti riportati nella Tabella 4-6.

In via cautelativa il d_{35} del sedime dello scolmatore è stato assunto pari al d_{50} . La porosità è stata assunta pari a 0.3 e la scabrezza di tutti i tratti pari a 40 di G.S. Come si osserva nella Tabella 4-6 nel tratto di foce è stato assunto un d_{35} variabile da 0.25 mm a 0.125 mm.

Tronco	Granulometria [mm]
scolma0	10
scolma1	0.5
scolma2	0.25
scolma3	0.125
scolma4	0.125
chiara	1
nuova	1
bientina	5
usciana	5

Tabella 4-6 – Granulometrie per i diversi tronchi adottate nel modello a fondo mobile

4.5. RISULTATI DELLA VERIFICA

I tabulati della verifica idraulica per il tempo di ritorno di 200 anni, il profilo longitudinale e le sezioni fluviali della fossa Chiara sono riportati nell'Allegato 01_CI_RH_02.

In corrispondenza del viadotto della A12 il livello delle acque per il tempo di ritorno di 200 anni nella fossa Chiara raggiunge la quota di circa 1.5 m s.l.m. Nelle aree di potenziale esondazione i livelli di esondazione sono rispettivamente di circa 1.0 m s.l.m. per l'area a ovest dell'autostrada con un volume esondato di circa 20 mc e di circa 0.20 m s.l.m. per l'area a est con un volume esondato di circa 800mc.

Si rileva che nel tratto di intervento i livelli nella fossa Chiara sono tali da non provocare esondazioni. I volumi che si registrano nelle aree di potenziale esondazione provengono dalle aree limitrofe.

Vista l'esiguità dei volumi esondati è plausibile ritenere che gli stessi siano convogliati all'interno del reticolo minore. Si ritiene pertanto di poter confermare la pericolosità prevista per l'area di intervento dal Piano di Assetto Idrogeologico.

5. VERIFICA DELLA COMPATIBILITA' IDRAULICA

5.1. LA MESSA IN SICUREZZA DELLO SVINCOLO

La messa in sicurezza dell'area dello svincolo è garantita dai seguenti interventi:

- realizzazione degli stradelli secondari intorno allo svincolo autostradale alla quota di 2.0 m s.l.m. (valutata cautelativamente in riferimento ai livelli raggiunti nella fossa Chiara per l'evento duecentennale);
- realizzazione di un fosso di guardia di dimensioni 1.0m alla base, profondo 1.0m e con pendenza della sponde 1:1.5 su tutto il perimetro dell'area di intervento;
- adeguamento del fosso di scarico dal suddetto fosso di guardia fino al fosso dei Navicelli;
- realizzazione di una vasca di laminazione interna allo svincolo autostradale con funzioni di autocontenimento delle acque per eventi di lunga durata e di compensazione nel rispetto del principio dell'invarianza idraulica a seguito della aumentata impermeabilizzazione;
- posa in opera di una valvola a clapet sul canale di scarico della vasca di laminazione.

La quota media della vasca di laminazione prevista all'interno dello svincolo è stata fissata a 0.2 m s.l.m.. I canali avranno una pendenza dello 0.03%.

5.2. GLI INTERVENTI DI COMPENSAZIONE

Al fine di rispettare il principio del non aggravio nelle aree circostanti a seguito della realizzazione in sicurezza dello svincolo è stato verificato che il fosso di guardia previsto intorno all'intervento fosse in grado di contenere completamente le acque esondate nelle aree di potenziale esondazione ove ricade l'intervento.

Il fosso perimetrale ha una lunghezza di circa 1000m. Considerando una larghezza media di 2.0m e un battente utile di 0.5m si ottiene un invaso di 1000 mc, maggiore rispetto al volume complessivamente esondato pari circa 820 mc.

Al fine di rispettare il principio dell'invarianza idraulica è stato previsto lo sbassamento dell'area interclusa allo svincolo fino alla quota di 0.2 m s.l.m. Essendo il piano campagna attuale nell'area interclusa intorno a 0.60 m s.l.m. si ha una profondità di scavo media di circa 40 cm.

A tale proposito si faccia riferimento all'elaborato 01_ID_RH_03 relativo alle aree di laminazione.

Come riportato nel capitolo successivo il volume necessario a garantire l'invarianza idraulica è di circa 1680 mc. Poiché l'area di laminazione ha una superficie di circa 27750 mq si ricava un battente di circa 6cm.

Essendo il punto più depresso dello svincolo posto circa a quota 0.6 m s.l.m. ne risulta un franco di sicurezza di circa 30cm.

Lo sbassamento dell'area interclusa allo svincolo per la realizzazione dell'area di laminazione è inoltre funzionale allo stoccaggio delle acque meteoriche in condizioni di deflusso intermittente.

In via cautelativa assumendo un evento di durata 72 ore senza possibilità di scarico, la curva di possibilità pluviometrica riportata nel capitolo successivo e un coefficiente di afflusso di 0.43 (dato dalla media tra i coefficienti di afflusso delle aree impermeabili pari a 16200mq e di quelle permeabili pari a 42100 mq) per un evento di duecentennale si ottiene un volume di circa 7000mc.

In tali condizioni il battente all'interno dell'area di laminazione è di 0.25 m e la quota di invaso a 0.45 m s.l.m. comunque inferiore a quella del piano stradale nel punto più depresso.

6. INVARIANZA IDRAULICA

La verifica dell'aggravio indotto dall'aumento delle aree impermeabili e la valutazione dei volumi necessari per garantire in principio dell'invarianza idraulica è stata condotta considerando unicamente l'incremento delle superfici impermeabili relative alle zone oggetto di intervento.

6.1. IL METODO DI CALCOLO

Il calcolo dei contributi ante e post operam è stato condotto utilizzando il metodo dell'"invaso secondo la seguente espressione:

$$u = C \frac{(\psi a)^{1/n_0}}{v_0^{(1/n_0-1)}}$$

dove

- u contributo unitario in [l/s ha];
- C = 2160 n₀ (secondo Puppini nella ipotesi di serbatoio lineare);
- ψ coefficiente di deflusso unitario;
- a coefficiente dalla CPP [m/hn];
- n₀ = 4/3 n esponente della CPP;
- v₀ invaso specifico [m].

I parametri ψ e v₀ sono funzione del tipo di uso del suolo. Nel presente caso sono stati adottati i seguenti coefficienti:

Superfici permeabili	$\psi = 0.25$	v ₀ = 0.01 m.
Superfici semipermeabili	$\psi = 0.90$	v ₀ = 0.005 m.

6.2. LE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

Per il presente studio sono state considerate le Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP) ricavate dal Centro Funzionale Regionale della Regione Toscana per il pluviometro di Livorno (cod. 1960)

Le CPP utilizzate hanno la forma :

$$h = at^n Tr^m$$

dove:

- a, n e m = parametri da calibrare in base alle precipitazioni locali;

- h (mm) = altezza di pioggia;
- t (min.) = durata dell'evento meteorico;
- Tr (anni) = tempo di ritorno dell'evento meteorico.

La Tabella 4-1 riporta valori per a , n e m (con l'altezza di pioggia in mm e la durata in ore) per il pluviometro di Livorno.

Durata evento	a	n	m
< 1 h	34.619	0.469	0.172
> 1 h	34.255	0.227	0.213

Tabella 4-1 – Curva segnalatrice di possibilità pluviometrica per il pluviometro di Livorno.

6.3. CALCOLO DELLA INVARIANZA IDRAULICA

Il calcolo dell'invarianza idraulica è stato condotto calcolando la variazione di superficie impermeabile fra lo stato attuale e lo stato di progetto e quindi il volume di compensazione necessario al fine di equiparare il contributo unitario nello stato ante e post operam.

Dal confronto fra le aree occupate da superficie impermeabile ante e post operam risulta incremento di superficie impermeabile di circa 16'200 mq.

Nella Tabella 4-2 si riporta il calcolo del volume di compensazione. Risulta che a fronte di un aumento delle aree impermeabili di circa 16'200mq sarebbe necessario garantire un volume di invaso di circa 1680 mc al fine di non aumentare il carico idraulico nel reticolo minore.

D'altra parte nel caso specifico lo smaltimento delle acque piovane raccolte dalle nuove superfici impermeabili, ovvero delle acque di piattaforma, è previsto mediante recapito finale nell'area di compensazione ricavata nell'area interclusa all'interno della nuova viabilità.

A tale proposito si faccia riferimento all'elaborato 01 ID RH 03 relativo alle aree di compensazione.

AREA [mq]	Stato di progetto						Stato attuale			
	Tipo	u_p [l/sha]	V_t [m]	V_i [mc]	V_p [m]	P_{hip}	Tipo	u_a [l/sha]	V_a [m]	P_{hia}
16200	Impermeabile	53	0.109	1679	0.005	0.9	Permeabile	53	0.01	0.25

Tabella 4-2 – Calcolo del volume di compensazione per l'invarianza idraulica

7. CONCLUSIONI

La presente relazione è finalizzata alla verifica della compatibilità idraulica del nuovo svincolo A12-S.S.1 Aurelia Sud in località Cimitero di Stagno.

E' stata condotta una verifica idraulica al fine di stabilire la pericolosità idraulica dell'area e i battenti attesi di esondazione con il tempo di ritorno di 200 anni.

Sulla base dei battenti e dei volumi di esondazione sono stati definiti gli interventi necessari per la messa in sicurezza senza aggravio nelle aree circostanti.

Inoltre sono stati dimensionati gli interventi necessari per il rispetto del principio di *invarianza idraulica* in seguito all'intervento di realizzazione del nuovo svincolo.

La modellazione idraulica ha evidenziato che in caso di evento duecentennale i volumi esondati sono circa 820 mc. Tali volumi sono completamente contenuti nel fosso di guardia previsto intorno all'area di intervento.

Per quanto riguarda l'invarianza idraulica rispetto alla maggiore impermeabilizzazione del terreno, i calcoli, effettuati mediante il metodo dell'invaso, hanno mostrato la necessità di realizzare un volume di compensazione pari a circa 1680 mc al fine di non aggravare il reticolo idraulico ove recapitano le acque meteoriche.

E' stato inoltre verificato che anche in condizioni di deflusso impedito per 72 ore con un tempo di ritorno di 200 anni non si avrebbero esondazioni sul piano stradale dello svincolo.