

# STRADA PEDEMONTANA DELLE MARCHE TRATTO SASSOFERRATO-CAGLI: ANALISI IDROLOGICA ED IDRAULICA DI SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE

Ing. Elena Primavera



Torino, 14-15 Ottobre 2015



Italian DHI Conference 2015

# Inquadramento strada di progetto

Il tracciato viario di progetto è ubicato nell'area montana delle Marche centro-settentrionali e interessa la Provincia di Ancona e quella di Pesaro.



Il tracciato si sviluppa per 26 Km (17 viadotti e 16 gallerie) con un andamento NO-SE attraversando i territori dei seguenti Comuni:

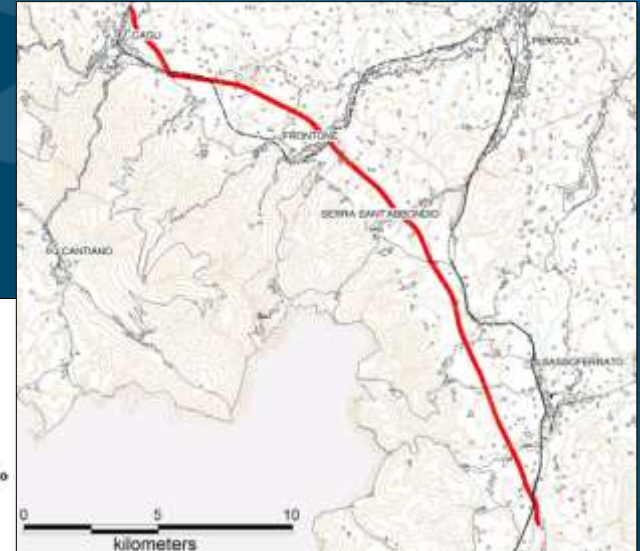
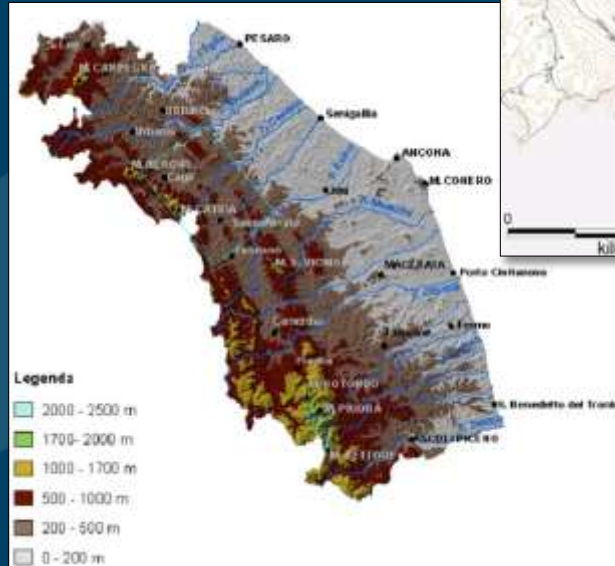
- Serra Sant'Abbondio, Frontone, Cagli (PU);
- Sassoferrato (AN).

Valore dell'opera di oltre 530 M€.



# Inquadramento strada di progetto

Il percorso scelto inizia in una zona situata a SO dell'abitato di Sassoferrato, in località C.se Perrella – Pian di Giano, a N del torrente Marena e termina a NE dell'abitato di Cagli, in località P.te Rosso, a N del fiume Burano.



# Articolazione dello studio

## COROGRAFIA DEI BACINI

- individuazione del reticolo idrografico e dei bacini tributari

## ATLANTE TOPOGRAFICO

- rilievo piano – altimetrico del reticolo idrografico interferite

## RELAZIONE IDROLOGICA E ATLANTE IDROLOGICO

- analisi delle serie di precipitazione dei pluviometri presenti nell'area d'interesse (oltre 470 km<sup>2</sup>)
- analisi geomorfologica dell'area oggetto di interesse
- individuazione delle portate al colmo e calcolo degli idrogrammi

# Articolazione dello studio

## RELAZIONE IDRAULICA E ATLANTE IDRAULICO

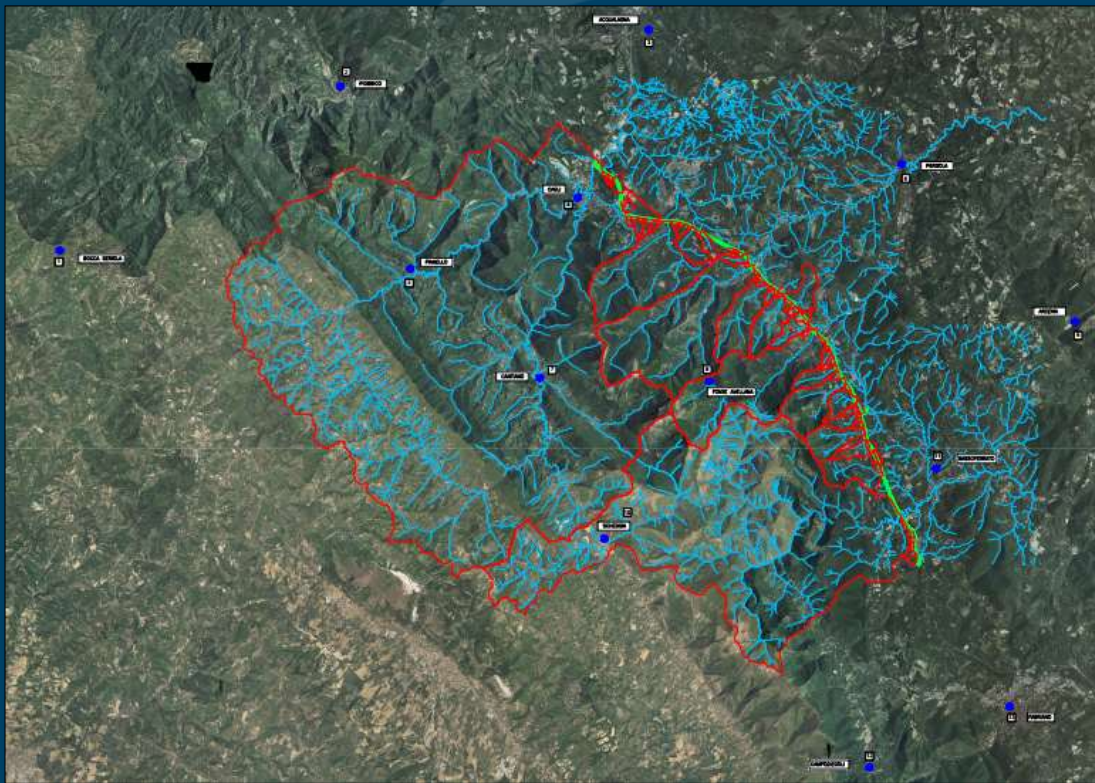
- verifica dei manufatti di attraversamento
- verifica dei manufatti di difesa idraulica della infrastruttura viaria
- dimensionamento dei sistemi di smaltimento delle acque di piattaforma

## PLANIMETRIE E OPERE IDRAULICHE

- opere per la raccolta delle acque di piattaforma
- opere per l'allontanamento delle acque di piattaforma
- opere per il trasporto delle acque
- opere per il trattamento delle acque
- bacini di laminazione.



# Individuazione interferenze con il reticolo idrografico



## CORSI D'ACQUA:

- PRINCIPALI

(bacini tributari > 50 Km<sup>2</sup>);

- SECONDARI

(bacini tributari 5-50 Km<sup>2</sup>);

- MINORI

(bacini tributari < 5 Km<sup>2</sup>)

VERSANTI

VERSANTI AUTONOMI



# Analisi idraulica e verifiche attraversamenti

metodi diversi in funzione:

- importanza dei bacini sottesi dalla strada
- tipo di attraversamento previsto (viadotto, tombino, ecc.).

**Moto uniforme:** corsi d'acqua minori e versanti.

Per tombini di luce netta  $< 6$  m e  $D_n > 1,5$  m qualora l'attraversamento non presenti opere interferenti con la sez. di deflusso della piena di progetto, con bacino sotteso all'interferenza  $< 10$  kmq e non interessato da vincoli di natura idraulica-idrogeologica, con geometria approssimativamente cilindrica ed in assenza di salti o strettoie che provochino scostamenti apprezzabili dalle condizioni di moto uniforme;

# Analisi idraulica e verifiche attraversamenti

**Moto permanente:** corsi d'acqua secondari, minori.

tutti i casi in cui il corso d'acqua non è principale e non presenta nemmeno le caratteristiche descritte al punto precedente.

Tutti gli attraversamenti su viadotto previsti verranno analizzati in moto permanente, ad eccezione di quello sul Fiume Burano e sul Torrente Sentino analizzati in moto vario;

**Moto vario:** corsi d'acqua principali.

Fiume Burano (A1) e Torrente Sentino (D16).



# Bacino - Categoria – Interferenza – Tipo di analisi

CORSO D'ACQUA - NOME BACINO PRINCIPALE	CATEGORIA CORSO D'ACQUA	TIPO DI INTERFERENZA	TIPO DI ANALISI IDRAULICA
A1	PRINCIPALE	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO VARIO
A2	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
A3	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
A3-1	MINORI	FIANCHEGGIAMENTO STRADA	MOTO PERMANENTE
VA6.1	VERSANTE	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
A6	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO PERMANENTE
VA7.1	VERSANTE	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
A7	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO PERMANENTE
VA7.2	VERSANTE	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
A7-1	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
A7-2	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
A8	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
A9	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
A10	SECONDARI	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO PERMANENTE
A11	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
A12	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO PERMANENTE
B1	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO PERMANENTE
B2	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
B3-1	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
B3-2	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
B3	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
B4	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO PERMANENTE
B5	SECONDARI	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO PERMANENTE
B6 (VERSANTE)	VERSANTE	FOSSO DI GUARDIA	MOTO UNIFORME

CORSO D'ACQUA - NOME BACINO PRINCIPALE	CATEGORIA CORSO D'ACQUA	TIPO DI INTERFERENZA	TIPO DI ANALISI IDRAULICA
C1	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO PERMANENTE
C2	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO PERMANENTE
C2-1 (VERSANTE)	VERSANTE	FOSSO DI GUARDIA	MOTO UNIFORME
C3	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
C4-1 (VERSANTE)	VERSANTE	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO UNIFORME
C4-2	SECONDARI	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO PERMANENTE
C5	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO PERMANENTE (vedi C4-2)
C6	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
C7 (VERSANTE)	VERSANTE	FOSSO DI GUARDIA	MOTO UNIFORME
C8-3	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO PERMANENTE
C9 (VERSANTE)	VERSANTE	FOSSO DI GUARDIA	MOTO UNIFORME
C10	SECONDARI	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO PERMANENTE
C11 (VERSANTE)	MINORI	FOSSO DI GUARDIA	MOTO UNIFORME
C12	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
C13	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO PERMANENTE
C14	VERSANTE	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
C15 (VERSANTE)	MINORI	FOSSO DI GUARDIA	MOTO UNIFORME
D1	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
D2	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
D3	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO PERMANENTE
VD3	VERSANTE	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
D4	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
D5 (VERSANTE)	VERSANTE	FOSSO DI GUARDIA	MOTO UNIFORME
D6	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
D7	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
D7-1	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
D8	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
D9	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME

CORSO D'ACQUA - NOME BACINO PRINCIPALE	CATEGORIA CORSO D'ACQUA	TIPO DI INTERFERENZA	TIPO DI ANALISI IDRAULICA
D10	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
D11	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
VD11.3	VERSANTE	FOSSO DI GUARDIA	MOTO UNIFORME
D12	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
VD12.2	VERSANTE	FOSSO DI GUARDIA	MOTO UNIFORME
D13	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO PERMANENTE
D14	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO PERMANENTE
D16	PRINCIPALE	ATTRAVERSAMENTO (VIADOTTO)	MOTO VARIO
D16-1	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
VD16-2.1	VERSANTE	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
D16-2	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
D17	MINORI	ATTRAVERSAMENTO (TOMBINO)	MOTO UNIFORME
D18 (VERSANTE)	VERSANTE	FOSSO DI GUARDIA	MOTO UNIFORME

	NUMERO COMPLESSIVO	MOTO VARIO BIDIMENSIONALE	MOTO PERMANENTE	MOTO UNIFORME
CORSI D'ACQUA PRINCIPALI	2	2	-	-
CORSI D'ACQUA SECONDARI	4	-	4	-
CORSI D'ACQUA MINORI	43	-	13	30
VERSANTI	15	-	-	15

	NUMERO COMPLESSIVO	MOTO VARIO BIDIMENSIONALE	MOTO PERMANENTE	MOTO UNIFORME
TOTALE	64	2	17	45



# Analisi idrologica

- 1) Analisi delle serie di precipitazione e/o massimi annuali delle 13 stazioni di riferimento;
- 2) Analisi geomorfologica dell'area oggetto di interesse attraverso supporti cartografici e numerici disponibili - redazione della mappa aggiornata dell'uso del suolo sulla base delle informazioni cartografiche disponibili;
- 3) Individuazione delle portate al colmo ovvero calcolo degli idrogrammi per differenti tempi di ritorno.

# 1) Analisi delle serie storiche

Numero pluviometro	Località	Longitudine	Latitudine	Quota (m)
1	Bocca Seriola	12°21'	43°30'	730,00
2	Prebbico	12°30'	43°35'	339,00
3	Acqualagna	12°41'	43°36'	204,00
4	Pianello	12°33'	43°30'	384,00
5	Cagli	12°38'	43°32'	276,00
6	Pergola	12°50'	43°33'	306,00
7	Carriano	12°37'	43°28'	360,00
8	Fonte Avellana	12°43'	43°28'	689,00
9	Areevia	12°56'	43°29'	535,00
10	Scheggia	12°39'	43°24'	688,00
11	Sassoferrato	12°51'	43°26'	312,00
12	Campodiegoli	12°49'	43°18'	507,00
13	Fabriano	12°54'	43°20'	357,00
13	Fabriano centro	12°54'	43°19'	354,00



Dati pioggia:

1928-1989

Servizio Idrog.  
Nazionale sez.  
Bologna

1990-2012

Protezione Civile  
Regione Marche

$$h=at^n$$

Elaborazione serie massimi annui

Legge di Gumbel con regressione ai minimi quadrati (a,n)

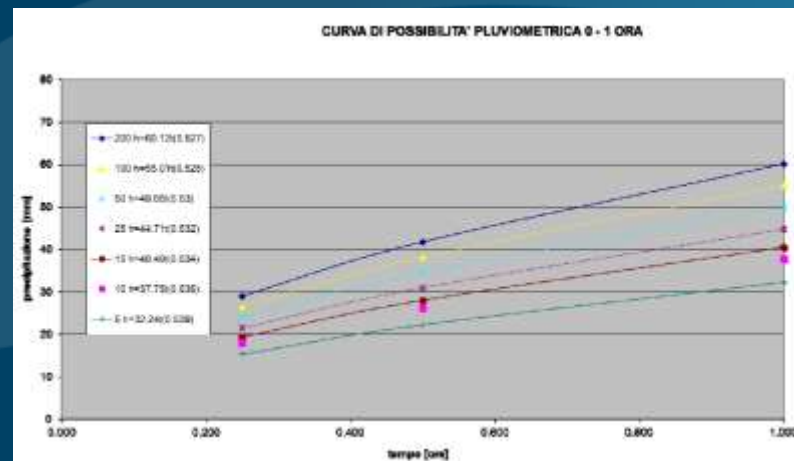
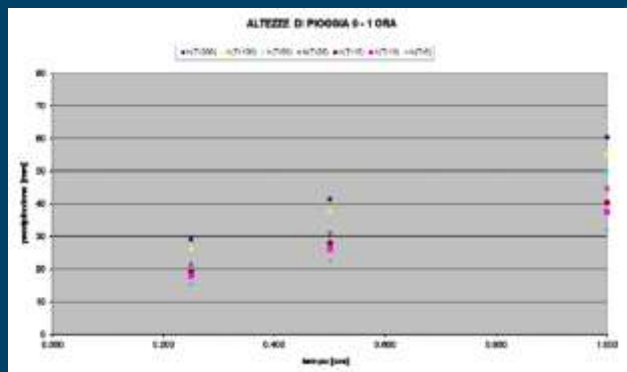
# 1) Analisi delle serie storiche

Registrazioni 0-1 ora; 1-24 ore; 1-5 giorni

Stazione CAGLI  
 Bacino Metauro  
 Longitudine: 12° 38'  
 Latitudine: 43°32'  
 Quota s.l.m.: 276 m

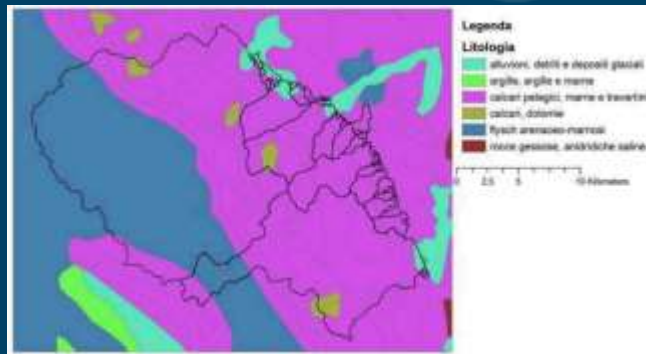
Anno	15 min	30 min	60 min	Anno	15 min	30 min	60 min
1991	7.2	11.0	13.6	2002	11.0	13.6	20.0
1992	25.2	33.6	50.0	2003	12.6	19.2	33.8
1993	12.4	24.0	32.6	2004	8.2	12.8	15.4
1994	18.4	22.8	26.8	2005	5.6	9.8	14.0
1995	12.6	22.8	33.0	2006	14.8	24.2	33.6
1996	11.2	15.6	20.8	2007	15.6	20.2	24.2
1997	15.4	28.0	33.8	2008	12.8	16.8	22.4
1998	5.0	9.0	16.2	2009	6.2	10.4	17.0
1999	7.6	13.6	20.4	2010	8.2	13.2	18.0
2000	13.8	19.2	35.2	2011	15.4	17.2	20.8
2001	10.8	21.4	37.2	2012	10.4	12.0	16.6

T <sub>r</sub> (anni)	P (h(T <sub>r</sub> ))	h(T <sub>r</sub> ) (mm)		
		15 min	30 min	1 h
200	0.995	29.1	41.8	60.8
100	0.990	26.5	37.9	55.2
50	0.980	24.0	34.8	50.0
25	0.960	21.4	30.9	44.8
15	0.933	19.3	28.0	40.5
10	0.900	18.0	26.1	37.7
5	0.800	15.2	22.4	32.1

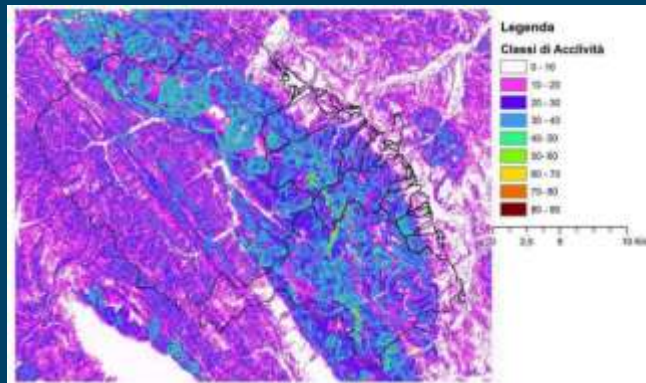




## 2) Analisi geomorfologica



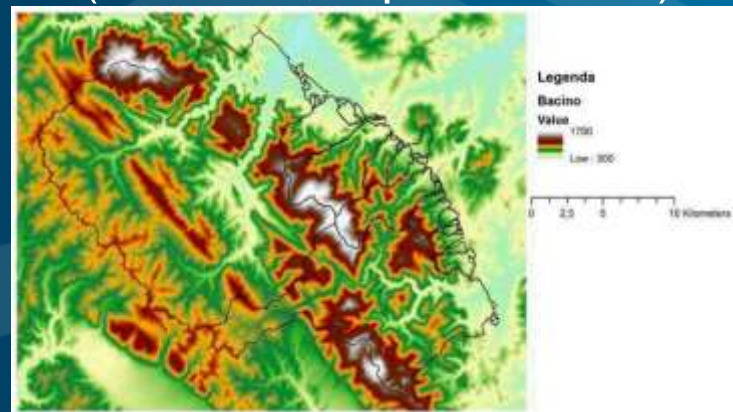
Calcari pelagici  
Marne  
Travertini



Tipo collinare  
Acclività media=19°  
Classi pend.< 30° (80%)

## DEM TINITALY

(ris=10 m, eqmv=2 metri)



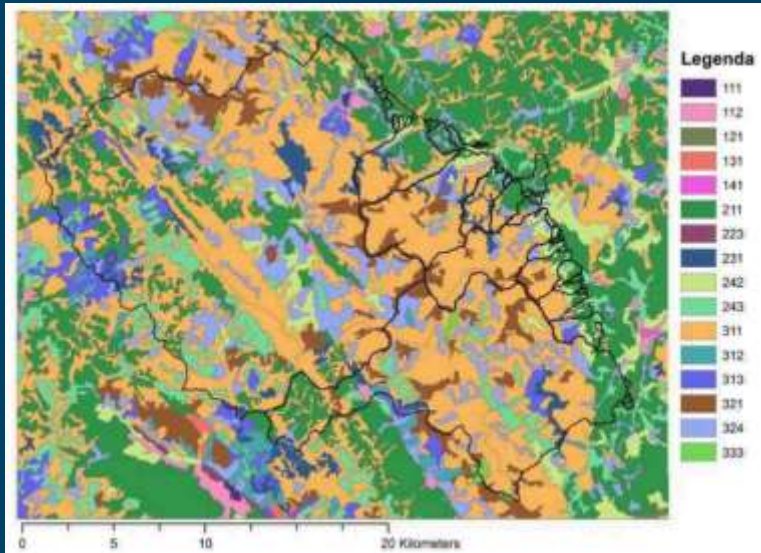
H 300-1702 m s.l.m.m.

BACINO	SUPERFICIE BACINO [km <sup>2</sup> ]	H MAX [m]	H MED [m]	H MIN [m]	PENDENZA MEDIA BACINO	LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE [m]	PENDENZA ASTA PRINCIPALE
--------	--	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------------------	--	--------------------------------

## 2) Analisi geomorfologica

Mappa uso del suolo

Banca dati del progetto Corine Land Cover (ver. 2006) elaborato da ISPRA. morfologia collinare - uso del suolo prevalentemente seminativo.



111	Terreni agricoli arborati	Terreni agricoli arborati. Sono terreni agricoli destinati alla coltivazione di alberi e arbusti, in particolare per la produzione di frutta e legumi. Sono esclusi i terreni agricoli arborati destinati alla coltivazione di piante ornamentali e di piante da fiore.
112	Terreni agricoli decidui	Terreni agricoli decidui. Sono terreni agricoli destinati alla coltivazione di alberi e arbusti, in particolare per la produzione di frutta e legumi. Sono esclusi i terreni agricoli decidui destinati alla coltivazione di piante ornamentali e di piante da fiore.
121	Area industriali e commerciali	Area industriali e commerciali. Sono terreni destinati all'uso industriale e commerciale, in particolare per la produzione di energia elettrica e per la lavorazione di minerali non metalliferi.
131	Area residenze	Area residenze. Sono terreni destinati all'uso residenziale, in particolare per la costruzione di abitazioni e di edifici di uso residenziale.
141	Area verdi urbanizzate	Area verdi urbanizzate. Sono terreni destinati all'uso verde urbano, in particolare per la coltivazione di piante ornamentali e di piante da fiore.
211	Terreni a uso agricolo	Terreni a uso agricolo. Sono terreni destinati all'uso agricolo, in particolare per la coltivazione di piante ornamentali e di piante da fiore.
223	Terreni a uso agricolo	Terreni a uso agricolo. Sono terreni destinati all'uso agricolo, in particolare per la coltivazione di piante ornamentali e di piante da fiore.
231	Terreni a uso agricolo	Terreni a uso agricolo. Sono terreni destinati all'uso agricolo, in particolare per la coltivazione di piante ornamentali e di piante da fiore.
242	Terreni a uso agricolo	Terreni a uso agricolo. Sono terreni destinati all'uso agricolo, in particolare per la coltivazione di piante ornamentali e di piante da fiore.
243	Terreni a uso agricolo	Terreni a uso agricolo. Sono terreni destinati all'uso agricolo, in particolare per la coltivazione di piante ornamentali e di piante da fiore.
311	Terreni a uso agricolo	Terreni a uso agricolo. Sono terreni destinati all'uso agricolo, in particolare per la coltivazione di piante ornamentali e di piante da fiore.
312	Terreni a uso agricolo	Terreni a uso agricolo. Sono terreni destinati all'uso agricolo, in particolare per la coltivazione di piante ornamentali e di piante da fiore.
313	Terreni a uso agricolo	Terreni a uso agricolo. Sono terreni destinati all'uso agricolo, in particolare per la coltivazione di piante ornamentali e di piante da fiore.
321	Terreni a uso agricolo	Terreni a uso agricolo. Sono terreni destinati all'uso agricolo, in particolare per la coltivazione di piante ornamentali e di piante da fiore.
324	Terreni a uso agricolo	Terreni a uso agricolo. Sono terreni destinati all'uso agricolo, in particolare per la coltivazione di piante ornamentali e di piante da fiore.
333	Terreni a uso agricolo	Terreni a uso agricolo. Sono terreni destinati all'uso agricolo, in particolare per la coltivazione di piante ornamentali e di piante da fiore.

Corrispondenza tra le classi ed il tipo di uso del suolo.



### 3) Calcolo portate al colmo ed idrogrammi per diversi Tr

- Bacini idrografici dei corsi d'acqua principali:  
condotta mediante l'utilizzo del software **MIKE 11 del DHI Water.Environment.Health, modulo RR (Rainfall-Runoff)** al fine di ottenere uno o più idrogrammi di piena.
- Bacini idrografici dei corsi d'acqua secondari, minori e versanti:  
confronto dei risultati derivanti dall'impiego di differenti modelli concettuali per il calcolo della trasformazione afflussi-deflussi (metodo razionale ovvero la formula di Giandotti così come modificata da Giambetti, metodo proposto dal Soil Conservation Service (SCS) degli Stati Uniti).

### 3) Calcolo portate al colmo ed idrogrammi per diversi Tr

Calcolo tempi di corrivazione:

**Metodo di Pezzoli** - bacini con superficie  $< 10 \text{ Km}^2$  (Lim. inf.  $T_c = 10 \text{ min}$ )

**Metodo di Giandotti** - bacini con superficie  $> 10 \text{ Km}^2$  .

Formula di Pezzoli

$$t_c = 0,055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i}}$$

Formula di Giandotti

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_{\text{med}} - H_{\text{min}}}}$$

Calcolo Hpioggia (Tr):

- **piogge durata  $> 1 \text{ h}$**

curva di possibilità pluviometrica

- **piogge durata  $< 1 \text{ h}$**

curva di possibilità pluviometrica

formula HYDRODATA (2010)  $h(t) = \rho(t) \cdot h(1)$

Tool di MIKE ZERO

Preprocessing Temporal Data



### 3) Calcolo portate al colmo ed idrogrammi per diversi Tr

Tool di MIKE ZERO Preprocessing Temporal Data :

Hp mediato sul bacino di rif partendo da Hp critica relativa ad ogni pluviometro.

Station locations import from  From shape file  From x,y,name file

... Z:\STU2510014\01\_progetto\_definitivo\2\_consegna\_00\_00

Import stations

Projection Monte\_Mario\_Italy\_zone\_2

	Station name	Easting	Northing	
1	Station 1	2305923	4821508	...
2	Station 2	2318962	4829134	...
3	Station 3	2333176	4831811	...
4	Station 4	2322191	4820639	...
5	Station 5	2329975	4824120	...
6	Station 6	2345904	4826237	...
7	Station 7	2328006	4815746	...
8	Station 8	2336094	4815458	...
9	Station 9	2353319	4818252	...

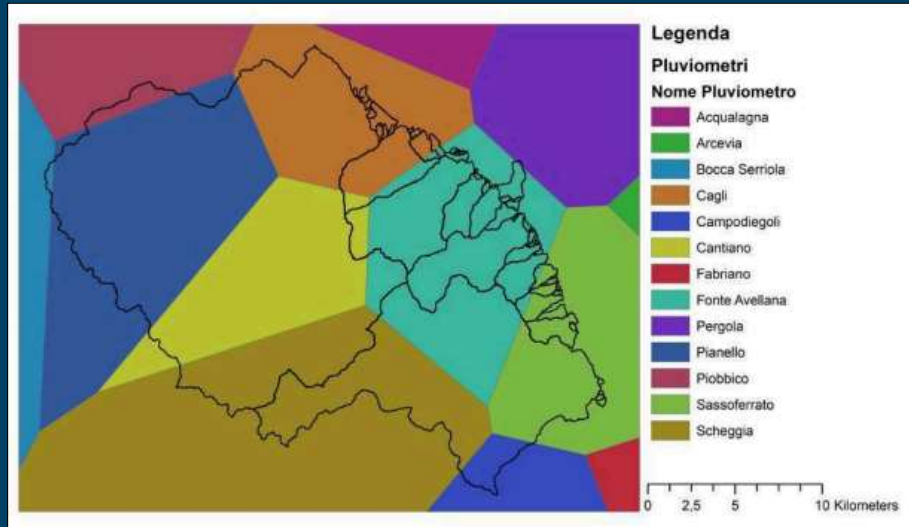
Input:

- inserite le posizioni planimetriche georeferenziate dei pluviometri
- ad ogni pluviometro va associato un file (DFS.0) contenente Hp critica per il considerato Tr.

### 3) Calcolo portate al colmo ed idrogrammi per diversi Tr

Tool di MIKE ZERO Preprocessing Temporal Data :

Metodo di interpolazione spaziale - Poligoni di Thiessen



Output:

- serie di dati variabile nello spazio
- media pesata effettuata solo sul contorno del bacino di interesse
- si ottiene il valore  $H_p$  critica media per quel dato bacino.

### 3) Calcolo portate al colmo ed idrogrammi per diversi Tr

Calcolo portate:

- **Bacini Sup < 10 Km<sup>2</sup> :** Formula razionale  
Tc metodo di Pezzoli;

$$Q_{\text{raz}} = \frac{278 \cdot \varphi \cdot h \cdot S}{\tau_c}$$

- **Bacini 10 < Sup < 100 Km<sup>2</sup> :** Formula di Giandotti – Giambetti  
Tc metodo di Giandotti;

$$Q_{\text{giand}} = \frac{\gamma \cdot \varphi \cdot h \cdot S}{\lambda \cdot \tau_c}$$

- **Bacini Sup > 100 Km<sup>2</sup> :** Formula razionale  
Tc metodo di Giandotti  
Metodo dell'SCS

$$Q_{\text{raz}} = \frac{278 \cdot \varphi \cdot h \cdot S}{\tau_c}$$

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)}$$



### 3) Calcolo portate al colmo ed idrogrammi per diversi Tr

Metodo SCS:

Per il calcolo del CN si è proceduto mediante l'uso del software ArcGIS in modo tale da poter creare una griglia con i valori del CN interni al bacino a partire dal tipo di uso del suolo e dal tipo di terreno.

Mediante l'uso di uno specifico tool è stata creata l'intersezione tra i domini dei due shapefile

- 1) valori del CN derivanti dalla Corine Land Cover
  - 2) uso del suolo di quel terreno derivanti dalla Carta Litologica
- e calcolato il valore del CN come media pesata su ciascuna area.



### 3) Calcolo portate al colmo ed idrogrammi per diversi Tr

Calcolo Coefficiente di deflusso:

Carta dell'uso del suolo CORINE (2006) assumendo per ogni classe d'uso dei valori del coeff. analoghi a quelli individuati in un recente studio condotto dall'AdB Interreg. Marecchia – Conca per il Torrente Taviolo, che per caratteristiche fisiche e geografiche presenta similitudini con i bacini d'interesse.

CODICE CLC	COEFFICIENTE DI DEFLUSSO
111	0.97
112	0.95
121	0.97
131	0.60
141	0.60
211	0.60
223	0.65
231	0.65
242	0.60
243	0.65
311	0.50
312	0.50
313	0.50
321	0.65
324	0.65
333	0.65

Per ogni bacino è stato calcolato il coeff.medio mediante GIS

### 3) Calcolo portate al colmo ed idrogrammi per diversi Tr

Calcolo Idrogrammi di piena:

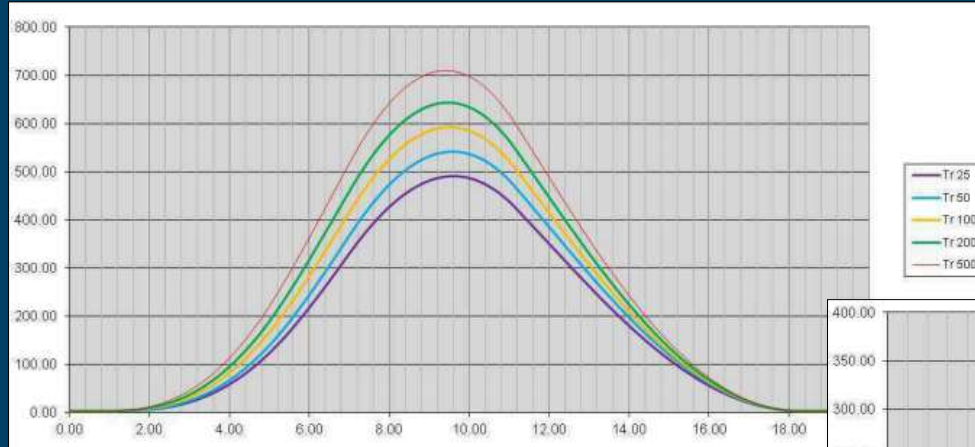
Per lo studio idraulico del Fiume Burano (A1) e del Torrente Sentino (D16) analizzati in moto vario si sono creati gli idrogrammi di piena con tempi di ritorno di 25, 50, 100, 200 e 500 anni mediante l'utilizzo del

**Modulo idrologico RR afflussi - deflussi del codice di calcolo Mike11** opportunamente calibrati sulla base delle Q colmo ottenute con il metodo razionale e Tc calcolato con la Formula di Giandotti

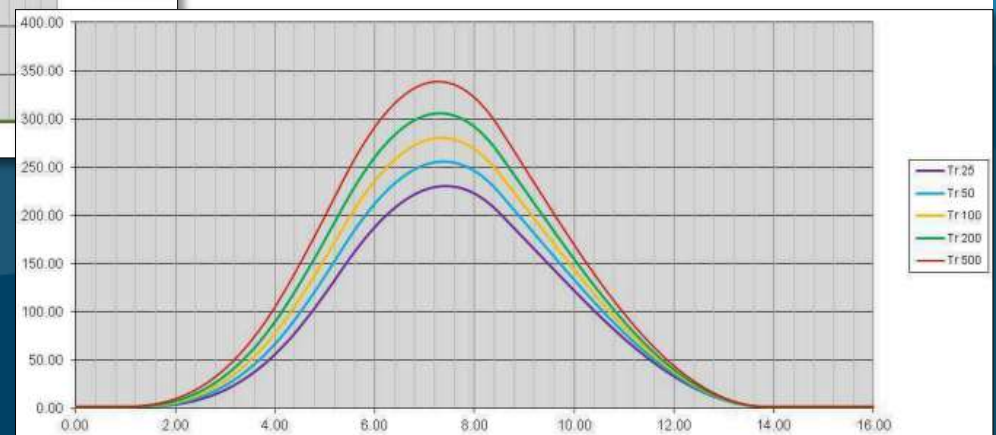
- tipo di modello l'UHM;
- metodo di calcolo della portata l'SCS triangolare;
- metodo di calcolo delle perdite il CN dell'SCS.

### 3) Calcolo portate al colmo ed idrogrammi per diversi Tr

Idrogrammi relativi ai Tr 25, 50, 100, 200, 500



per il Torrente Sentino

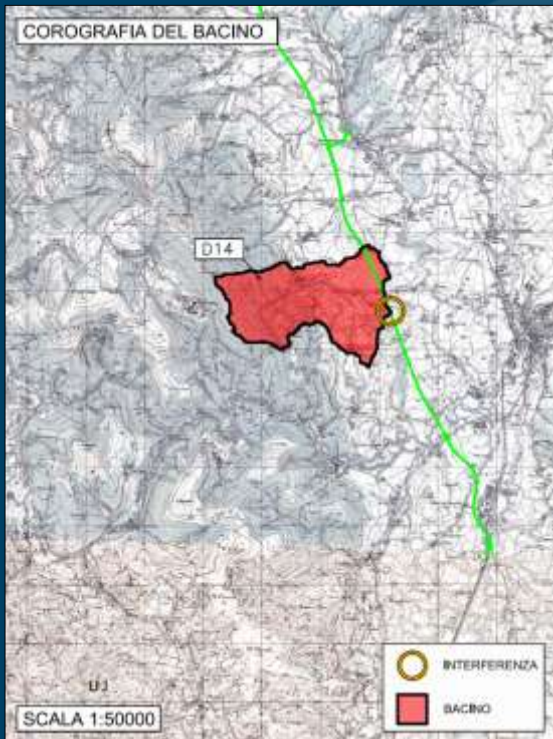


# Atlante topografico – Corso d'acqua D14 (progr. Km 04+731)





# Atlante idrologico – Corso d'acqua D14 (progr. Km 04+731)



**CARATTERISTICHE IDROLOGICHE**

SUPERFICIE	3,627 Km <sup>2</sup>
ALTEZZA MASSIMA	1093,7 m s.l.m.m.
ALTEZZA MEDIA	542,3 m s.l.m.m.
ALTEZZA MINIMA	366,0 m s.l.m.m.
PENDENZA MEDIA DEL BACINO	41,0 %
LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE	3397 m
PENDENZA ASTA PRINCIPALE	7,4 %
COEFFICIENTE DI DEFLUSSO	0,58
TEMPO DI CORRIVAZIONE	0,89 h

Tempo di Ritorno T <sub>r</sub> [anni]	Portata [m <sup>3</sup> /s]
500	60,8
200	52,9
100	47,4
50	42,0
25	36,5



# Analisi idraulica

- 1) Verifiche dei corsi d'acqua interferiti;
- 2) dimensionamento dei sistemi di smaltimento e protezione delle acque di piattaforma;
- 3) calcolo dei dispositivi per conseguire il controllo quali – quantitativo sui recapiti - vasche di 1° pioggia e di laminazione.

Per ciascun corso d'acqua principale e secondario interferito dalle opere in progetto è stata redatta una specifica scheda.



# 1) Verifiche dei corsi d'acqua interferiti

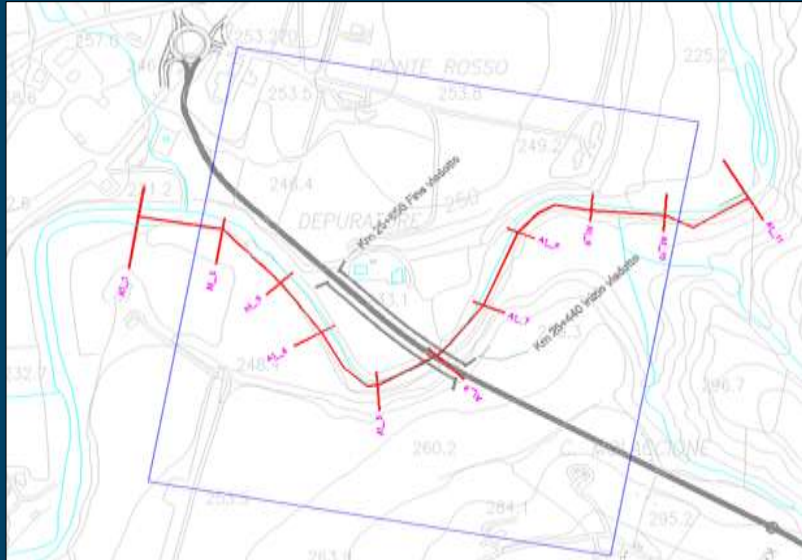
Le analisi idrauliche dei corsi d'acqua e le verifiche dei relativi attraversamenti sono state realizzate seguendo metodi diversi, in funzione dell'importanza dei bacini sottesi dalla strada e del tipo di attraversamento previsto (viadotto, tombino, ecc.).

- Moto vario (software **Mike Flood**);
- Moto permanente (software **Mike 11**);
- Moto uniforme.

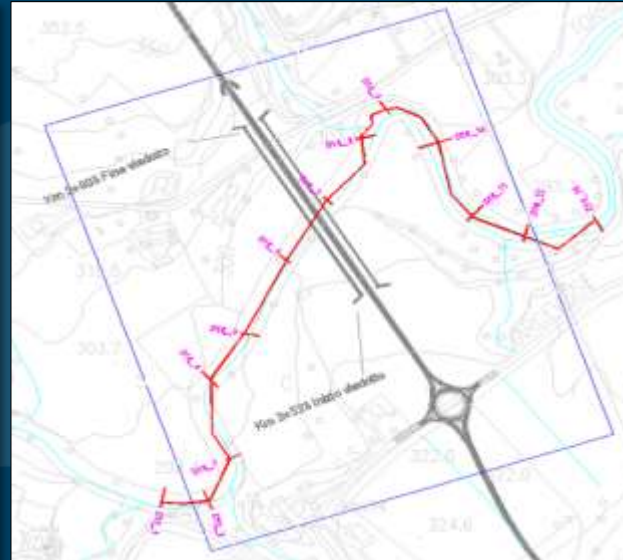
# 1) Verifiche dei corsi d'acqua interferiti

Moto vario  
F. Burano – T. Sentino

Mike Flood, accoppiamento Mike 11-Mike 21 tipo Lateral Link  
Sezioni Mike 11 rilevate in campagna mediante strumentazione GPS.



F. Burano 11 sezioni

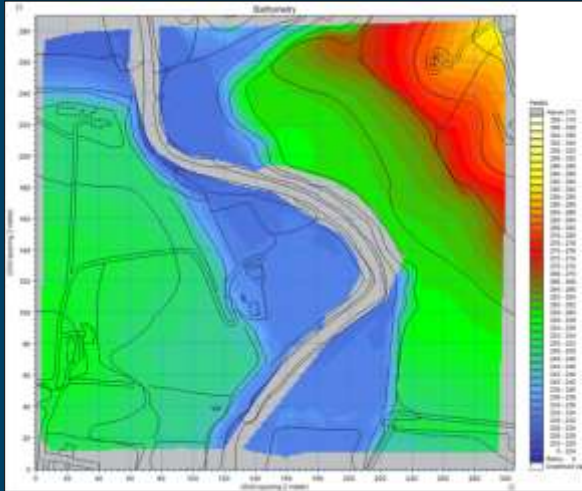


T. Sentino 13 sezioni

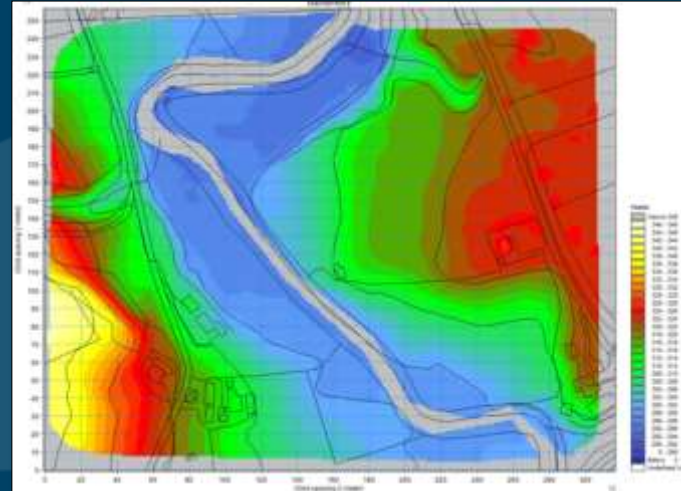
# 1) Verifiche dei corsi d'acqua interferiti

Moto vario  
F. Burano – T. Sentino

Batimetrie con griglia a maglia classica (rettangolare uniforme in tutto il dominio di calcolo) di dimensioni 2.00 m x 2.00 m.



F. Burano  
306(x)-290(y) (35 ha)



T. Sentino  
317(x)-257(y) (32 ha)

# 1) Verifiche dei corsi d'acqua interferiti

Moto vario  
F. Burano – T. Sentino

I dati di partenza per creare le batimetrie derivano da:

- rilievo a terra eseguito mediante strumentazione GPS;
- volo aereo eseguito dalla Provincia di Pesaro e Urbino nell'ambito del progetto "Strada Pedemontana delle Marche tratto Sassoferrato-Cagli" datato 24/05/2013 costituito da 4 strisciate (immagini compensate 98, punti osservati 7178, numero totale di osservazioni pari a 20505, punti di appoggio completi 39 e punti incogniti 7139);
- dati Li.D.A.R. Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. (maglia di 1m x1 m con un'accuratezza altim. di  $\pm 15$  cm e planim.  $\pm 30$  cm) (solo per il F. Burano).



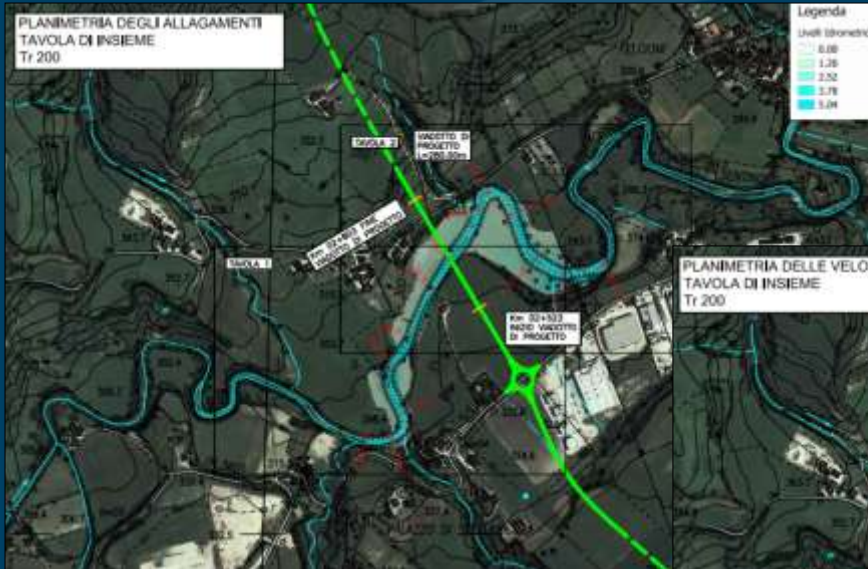
# Atlante idraulico – Corso d'acqua A1 (progr. Km 25+483)



Fiume Burano  
Corso d'acqua principale



# Atlante idraulico – Corso d'acqua D16 (progr. Km 02+649)



Torrente Sentino  
Corso d'acqua principale



# 1) Verifiche dei corsi d'acqua interferiti

Moto permanente

Metodo di simulazione:

- Le sezioni inserite nei modelli riguardanti lo studio di un singolo corso d'acqua sono in genere 3, una posta a monte, una a valle e una in corrispondenza dell'attraversamento stradale di norma con passo pari a circa 100 metri o più ravvicinato laddove si riscontrano particolari problematiche e maggiori discontinuità d'alveo.
- Nei casi in cui la particolare posizione della strada richiede lo studio di più corsi d'acqua insieme, si avranno allora un corso d'acqua principale ed un secondario in esso afferente.
- La modellazione idraulica in MIKE11 si è basata sulle sezioni rilevate in campagna mediante strumentazione GPS.

# 1) Verifiche dei corsi d'acqua interferiti

Moto permanente

Risultati :

- Esportati in GIS e sovrapposti alle ortofoto AGEA del 2012 disponibili presso il sito del Ministero dell'Ambiente (Geoportale Nazionale) e la carta tecnica regionale per ottenere così le planimetrie di allagamento.
- Da questa sovrapposizioni si possono notare le aree maggiormente esposte ad allagamenti con tempi di ritorno duecentennali e valutare le possibili interferenze rispetto alle opere di progetto.
- I risultati delle verifiche condotte in moto permanente contenenti i livelli idrici massimi e il franco idraulico (ossia la differenza tra la quota della strada/attraversamento) e quella del livello idrico calcolato sono riportati negli Atlanti Idraulici.

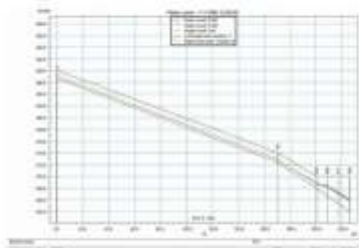


# Atlante idraulico – Corso d'acqua D14 (progr. Km 04+775)

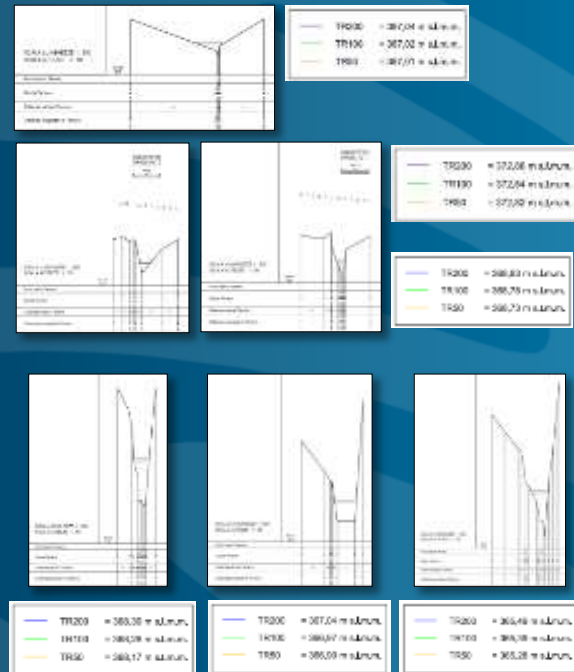
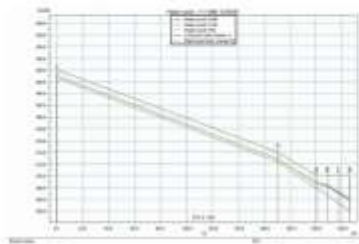
VERIFICA MANUFATTO - SEZIONE D13 C

Tr	Q [m <sup>3</sup> /s]	l [mm]	Ks [m <sup>2</sup> /s]	Livello idrico [m s.l.m.]	Franco idraulico [m]	Carico Cinetico [m]
200	4.8	0,101	25	372,86	9,48	1,01
100	4.3	0,101	25	372,84	9,50	0,89
50	3,8	0,101	25	372,62	9,52	1,08

PROFILO IDRAULICO - ANTE OPERAM



PROFILO IDRAULICO - POST OPERAM



# 1) Verifiche dei corsi d'acqua interferiti

Moto uniforme

- Attraversamenti (34 tra corsi d'acqua e versanti):

Previste due tombinature tipo a seconda della portata da smaltire: tombini di dimensioni LxH pari a 2.00x2.00 e 5.00x3.00 .

$$Q = A \cdot U = B \cdot h \cdot k_s \cdot R_H^{2/3} \cdot \sqrt{i_f} = B \cdot h \cdot k_s \cdot \left( \frac{B \cdot h}{B + 2h} \right)^{2/3} \cdot \sqrt{i_f}$$

$K_s = 50 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$

Fs di almeno 0,75 m o > 30% H utile dell'opera (In accordo con il Capitolato Speciale – Disciplinare d'Appalto).

- Fossi di guardia:

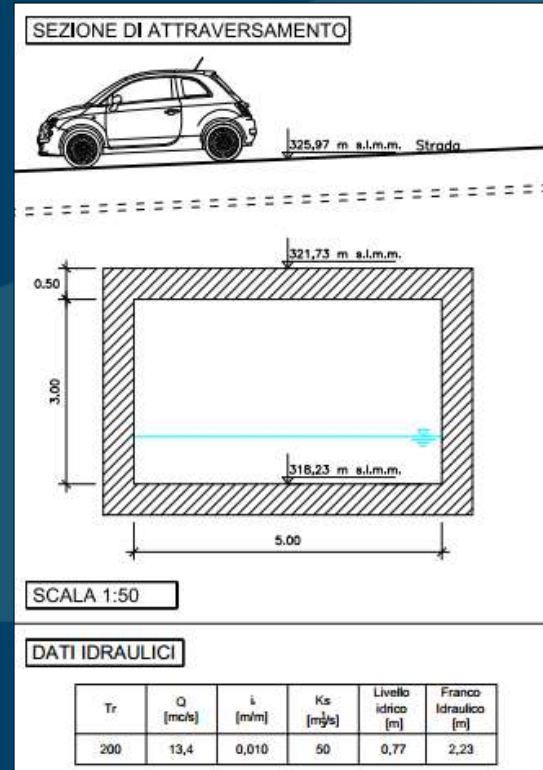
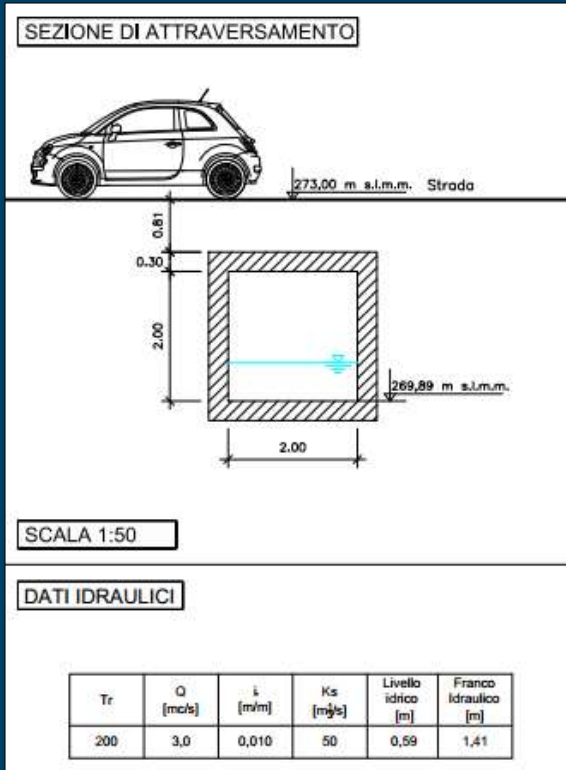
sezioni di tipo trapezoidale con dimensioni pari a 1.00 m per la base inferiore e pari a 1,50 m per l'altezza del canale con sponde a 45°.

$$Q = A \cdot U = (B + h) \cdot h \cdot k_s \cdot R_H^{2/3} \cdot \sqrt{i_f} = (B + h) \cdot h \cdot k_s \cdot \left( \frac{(B + h) \cdot h}{B + 2\sqrt{2} \cdot h} \right)^{2/3} \cdot \sqrt{i_f}$$

$K_s = 25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$



# Atlante idraulico – Corsi d'acqua A2 (progr. Km 25+168) B2 (progr. Km 19+325)

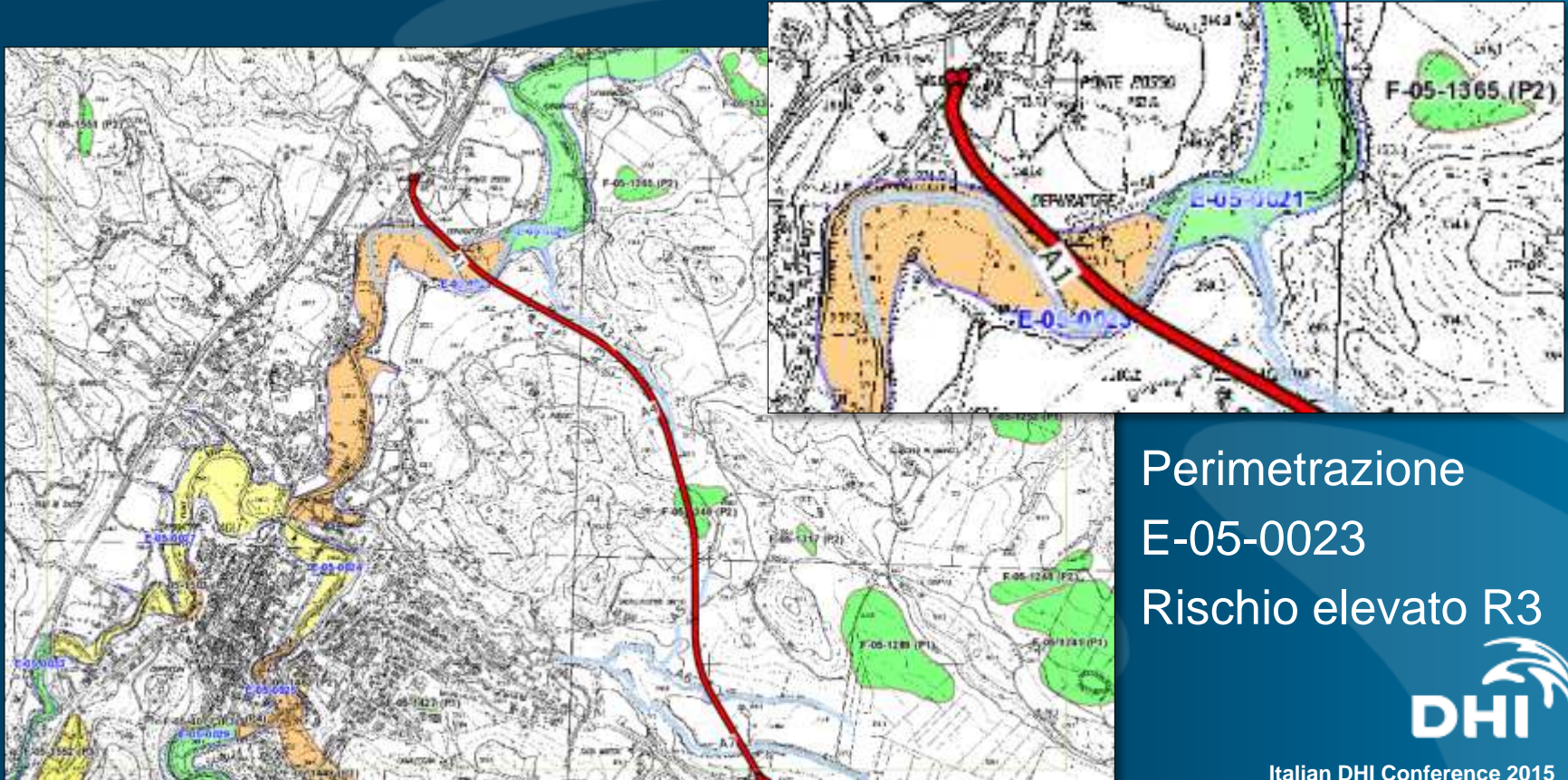




## Il Piano stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico

- Il tracciato studiato, localizzato secondo specifici criteri geometrici, geologici, geomorfologici e ambientali intercetta una zona perimetrata a rischio idraulico e precisamente l'area **E-05-0023**.
- L'area E-05-0023 che si estende dalla zona prossimale all'abitato di Cagli fino alla località Ponte Rosso verrà attraversata da un viadotto all'altezza del raccordo tra le scarpate destra e sinistra idrografica con le rispettive superfici del terrazzo che si trovano a circa 15 metri di altezza rispetto all'alveo attuale.
- Grazie agli approfondimenti d'indagine condotti, partendo dai rilievi di dettaglio eseguiti allo scopo fino all'analisi bidimensionale del Fiume Burano, si può concludere che le opere di progetto non alterano l'idrodinamica fluviale e quindi sono compatibili anche rispetto alla normativa del PAI.

# Il Piano stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico



Perimetrazione  
E-05-0023  
Rischio elevato R3



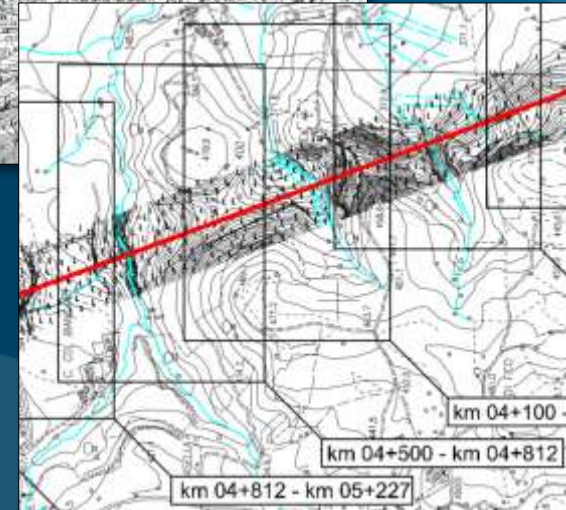
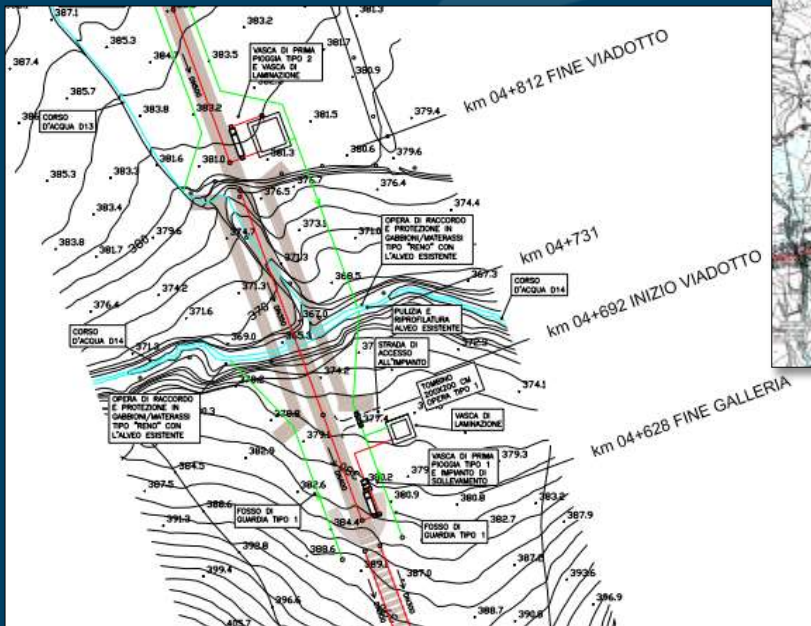
# Acque di piattaforma

Le opere idrauliche a servizio dell'infrastruttura stradale :

- opere per la raccolta delle acque di piattaforma: caditoie, cunette, ecc;
- opere per l'allontanamento delle acque di piattaforma: embrici, pluviali;
- opere per il trasporto delle acque: fossi, canali, condotte, pozzetti, tombini;
- opere per il trattamento delle acque: impianti che trattano le acque di dilavamento e catturano gli sversamenti accidentali;
- opere che garantiscano l'invarianza idraulica del territorio: bacini di laminazione, fossi di guardia.

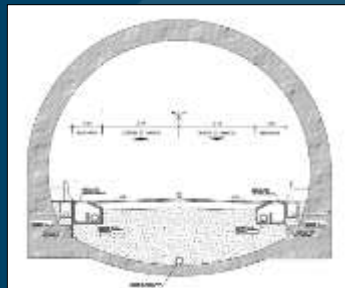
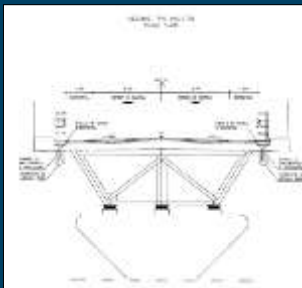
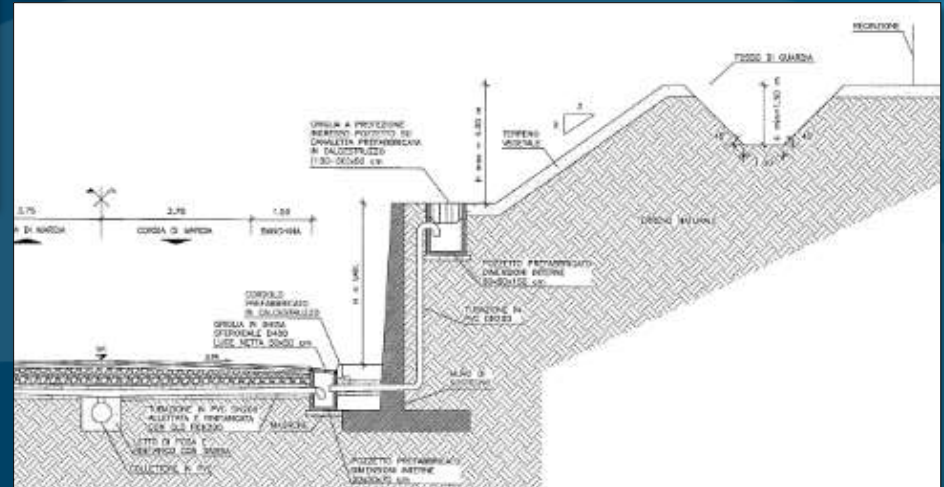
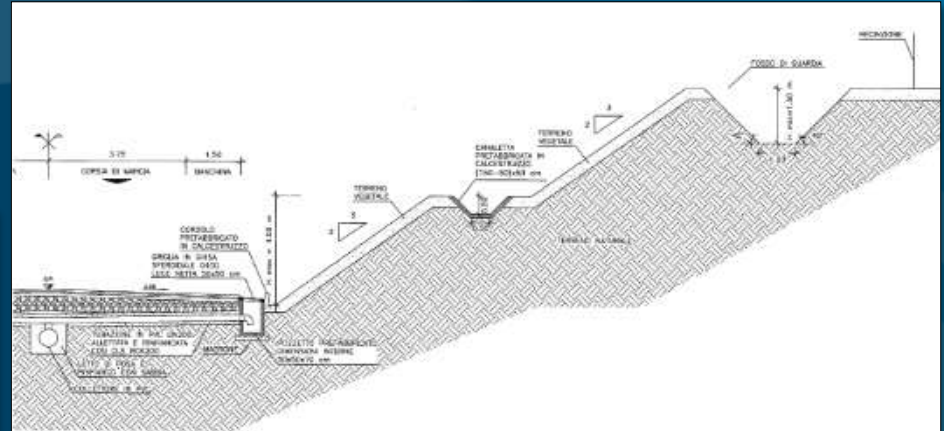
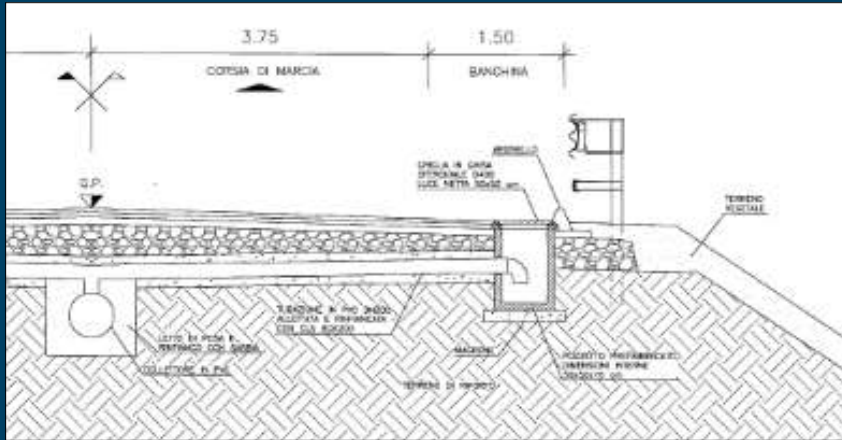


# Planimetrie idrauliche – Corso d'acqua D14 (progr. Km 04+731)



# Acque di piattaforma

## Sezioni tipo stradali





# Grazie

Ing. Elena Primavera



Torino, 14-15 Ottobre 2015

