

**REGIONE PUGLIA**  
Città Metropolitana di Bari  
COMUNE DI GRAVINA IN PUGLIA

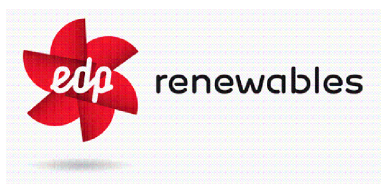
PROGETTO

**PROGETTAZIONE PARCO EOLICO S. DOMENICO**



**PROGETTO DEFINITIVO**

COMMITTENTE

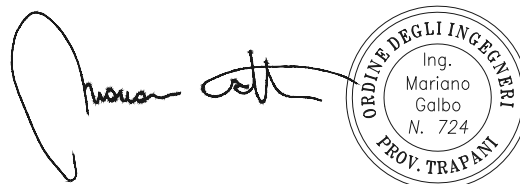


EDP Renewables Italia Holding S.r.l.  
Via Lepetit 8/10  
20124 - Milano

PROGETTISTA



**Hydro Engineering s.s.**  
di Damiano e Mariano Galbo  
via Rossotti, 39  
91011 Alcamo (TP) Italy



OGGETTO DELL'ELABORATO

**RELAZIONE IDRAULICA**

| REV. | DATA        | ATTIVITA'       | REDATTO | VERIFICATO | APROVATO |
|------|-------------|-----------------|---------|------------|----------|
| 0    | Giugno 2022 | PRIMA EMISSIONE | FG      | VF         | MG       |
|      |             |                 |         |            |          |
|      |             |                 |         |            |          |

| CODICE ELABORATO | DATA | SCALA | FORMATO | FOGLIO  | CODICE COMMITTENTE |
|------------------|------|-------|---------|---------|--------------------|
| SDM-PD-R15.2     |      |       |         | 1 di 30 |                    |

# INDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INDICE</b> .....                                       | <b>2</b>  |
| <b>1   PREMESSA</b> .....                                 | <b>3</b>  |
| <b>2   INQUADRAMENTO TERRITORIALE E IDROGRAFICO</b> ..... | <b>4</b>  |
| 2.1   RIFERIMENTI CARTOGRAFICI .....                      | 4         |
| <b>3   PROGETTO DELLE OPERE IDRAULICHE</b> .....          | <b>8</b>  |
| 3.1   APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE.....                   | 8         |
| 3.2   INVARIANZA IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO .....  | 8         |
| 3.3   OPERE IDRAULICHE .....                              | 10        |
| <b>4   MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI</b> .....                | <b>15</b> |
| 4.1   INDIVIDUAZIONE DELLA PIOGGIA CRITICA .....          | 15        |
| 4.2   IL COEFFICIENTE DI AFFLUSSO.....                    | 16        |
| 4.3   IL CALCOLO DELLE PORTATE .....                      | 17        |
| <b>5   VERIFICA DELLE OPERE PROGETTATE</b> .....          | <b>19</b> |
| 5.1   PRE-DIMENSIONAMENTO FOSSI DI GUARDIA .....          | 19        |
| 5.2   VERIFICA FOSSI DI GUARDIA .....                     | 20        |
| <b>6   PROGETTO ATTRAVERSAMENTI</b> .....                 | <b>22</b> |
| 6.1   CALCOLO IDRAULICO .....                             | 22        |
| 6.1.1   Attraversamento AT01 .....                        | 23        |
| 6.1.2   Attraversamento AT02 .....                        | 24        |
| 6.1.3   Attraversamento AT03 .....                        | 25        |
| 6.1.4   Attraversamento AT04 .....                        | 26        |

## 1 PREMESSA

La società Hydro Engineering s.s. è stata incaricata di redigere il progetto definitivo dell'impianto eolico denominato “*San Domenico*” composto da sei aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 6,00 MW, per una potenza complessiva di 36 MW, ubicato nel Comune di Gravina di Puglia (Provincia di Bari) e proposto dalla società EDP Renewables Italia Holding S.r.l. con sede in Milano Via Lepetit.

Le aree interessate dal posizionamento degli aerogeneratori ricadono nelle contrade *Serra Pozzo Fetente* (T1 e T2), *Le Grotte di Minnini* (T3) e *San Domenico* (T4, T5 e T6) tutte nel Comune di Gravina di Puglia, in provincia di Bari.

La presente relazione descrive l'approccio utilizzato per la progettazione delle opere idrauliche e gli interventi previsti per il drenaggio e l'allontanamento delle acque meteoriche dalle superfici stradali e dalle piazzole del parco eolico “*San Domenico*”, mostrando sia i criteri utilizzati che le risultanze delle analisi. Si anticipa che:

- le scelte progettuali sono state condotte secondo principi di invarianza idraulica (cfr. capitolo 3) così da avere **opere ad “*impatto zero*”** sull'esistente reticolo idrografico, rispettando il regime idraulico *ante operam* e recapitando le acque superficiali presso gli impluvi ove naturalmente, oggi, sono convogliate;
- il sistema di opere idrauliche previste, in uno con le caratteristiche della viabilità e delle piazzole del parco, non modifica né il reticolo di drenaggio esistente, né la risposta dei bacini per tutti gli aspetti che riguardano i meccanismi di formazione dei deflussi: **non variano le caratteristiche di permeabilità e non si hanno pressoché variazioni della portata Q da scaricare.**

La relazione in oggetto, oltre il presente capitolo, è composta da ulteriori n°5 capitoli, di cui di seguito un breve riepilogo:

- *Capitolo 2 – Inquadramento territoriale ed idrografico:* riporta le informazioni necessarie per l'individuazione cartografica del sito e illustra la posizione dell'impianto rispetto ai bacini idrografici esistenti.
- *Capitolo 3 – Progetto delle opere idrauliche:* illustra i criteri e le linee guida utilizzate per gli interventi in progetto e descrive le opere idrauliche previste.
- *Capitolo 4 – Modello afflussi-deflussi:* calcolo delle portate di progetto.
- *Capitolo 5 – Verifica delle opere progettate:* il capitolo fornisce la descrizione dei calcoli effettuati per il dimensionamento delle opere idrauliche (canalizzazioni).
- *Capitolo 6 – Progetto attraversamenti:* il capitolo fornisce la descrizione dei calcoli effettuati per il dimensionamento degli attraversamenti idraulici di impluvi esistenti interferenti con la viabilità di progetto.

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E IDROGRAFICO

### 2.1 RIFERIMENTI CARTOGRAFICI

Le aree interessate dal posizionamento dei n°6 aerogeneratori ricadono nelle contrade *Serra Pozzo Fetente* (T1 e T2), *Le Grotte di Minnini* (T3) e *San Domenico* (T4, T5 e T6) tutte nel Comune di Gravina di Puglia, provincia di Bari. Da un punto di vista cartografico, le opere in progetto ricadono all'interno delle seguenti cartografie e fogli di mappa catastali:

- CTR: Fogli 453132, 453133, 453162, 471041, 471042, 472011, 472012, 472013, 472014
- IGM: 1882NE-Gravina di Puglia
- Fogli di mappa catastali parco eolico: Gravina di Puglia Fg. 94, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 130, 137, 138.

Di seguito (Figg. 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4) sono riportate un'immagine di inquadramento territoriale, il layout dell'impianto in progetto su IGM 1:25.000, CTR 1:10.000 ed su ortofoto..

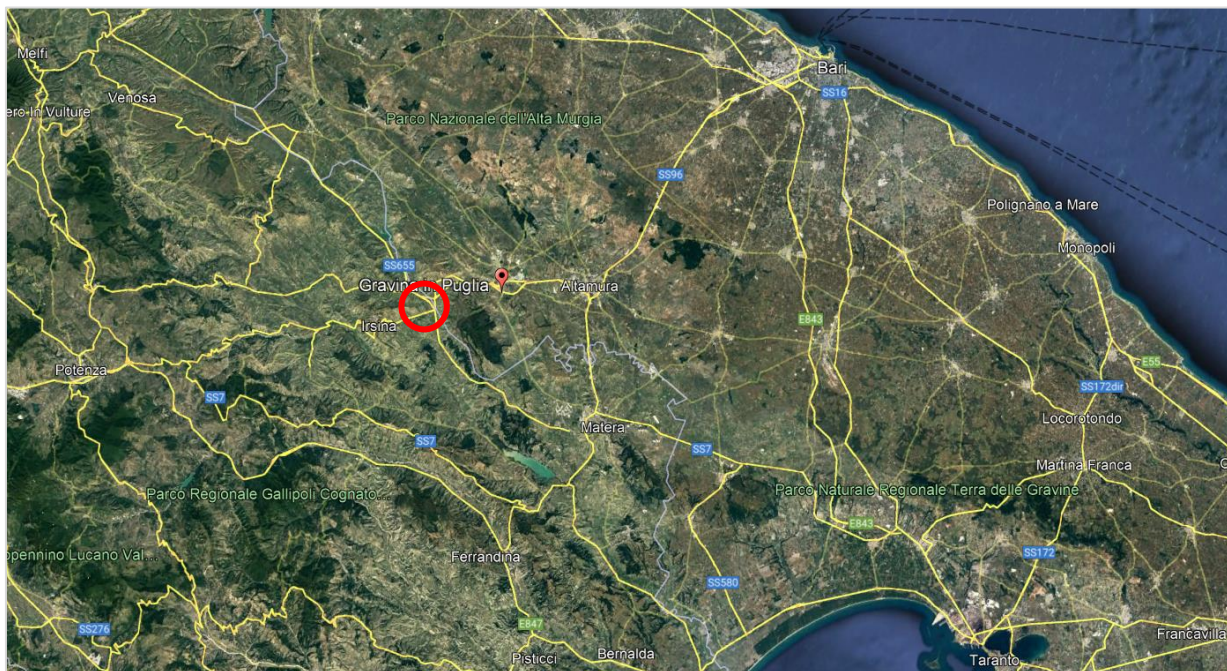


Figura 2.1: Ubicazione area di impianto da satellite



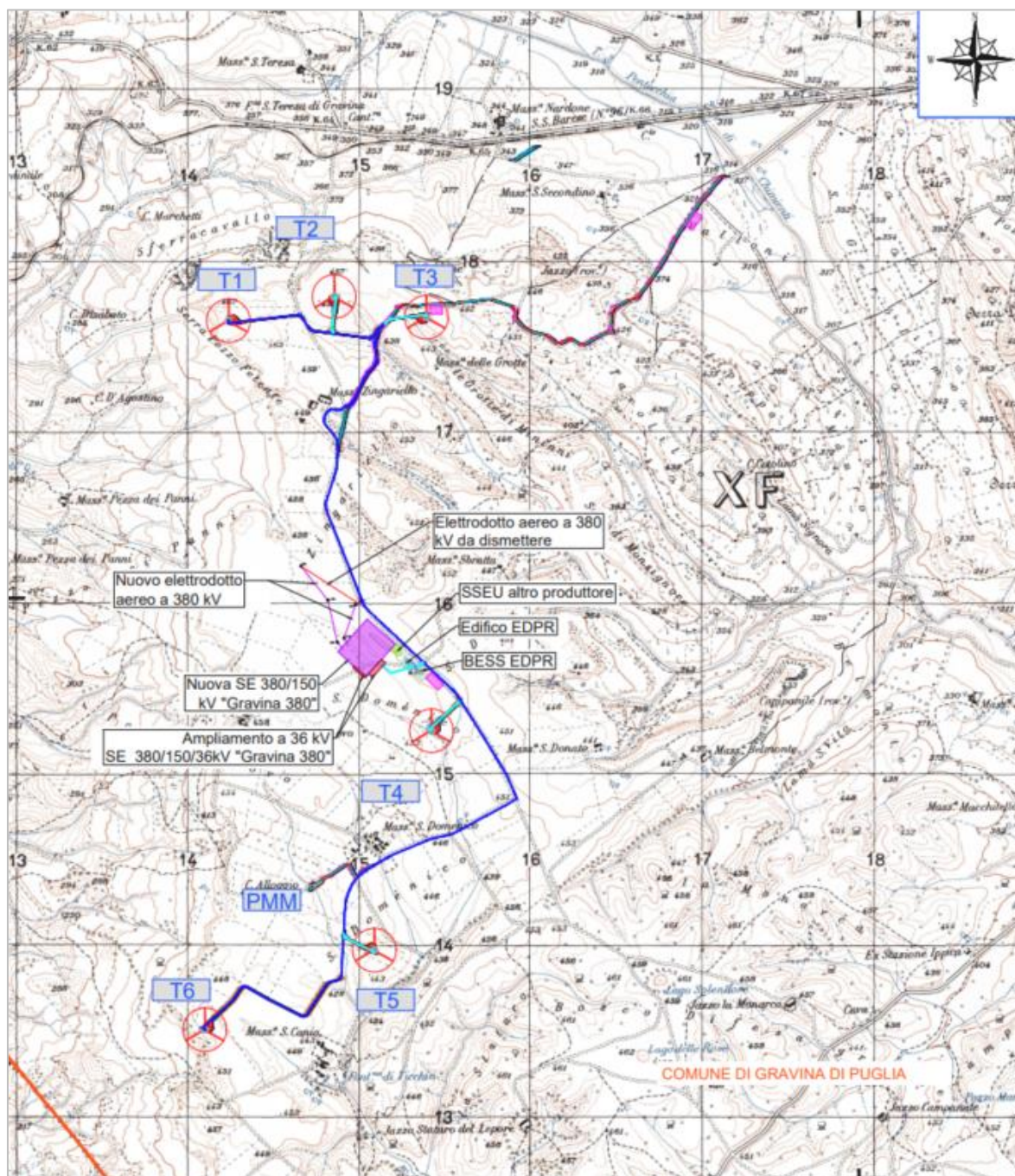


Figura 2.2: Inquadramento impianto su IGM 1:25.000



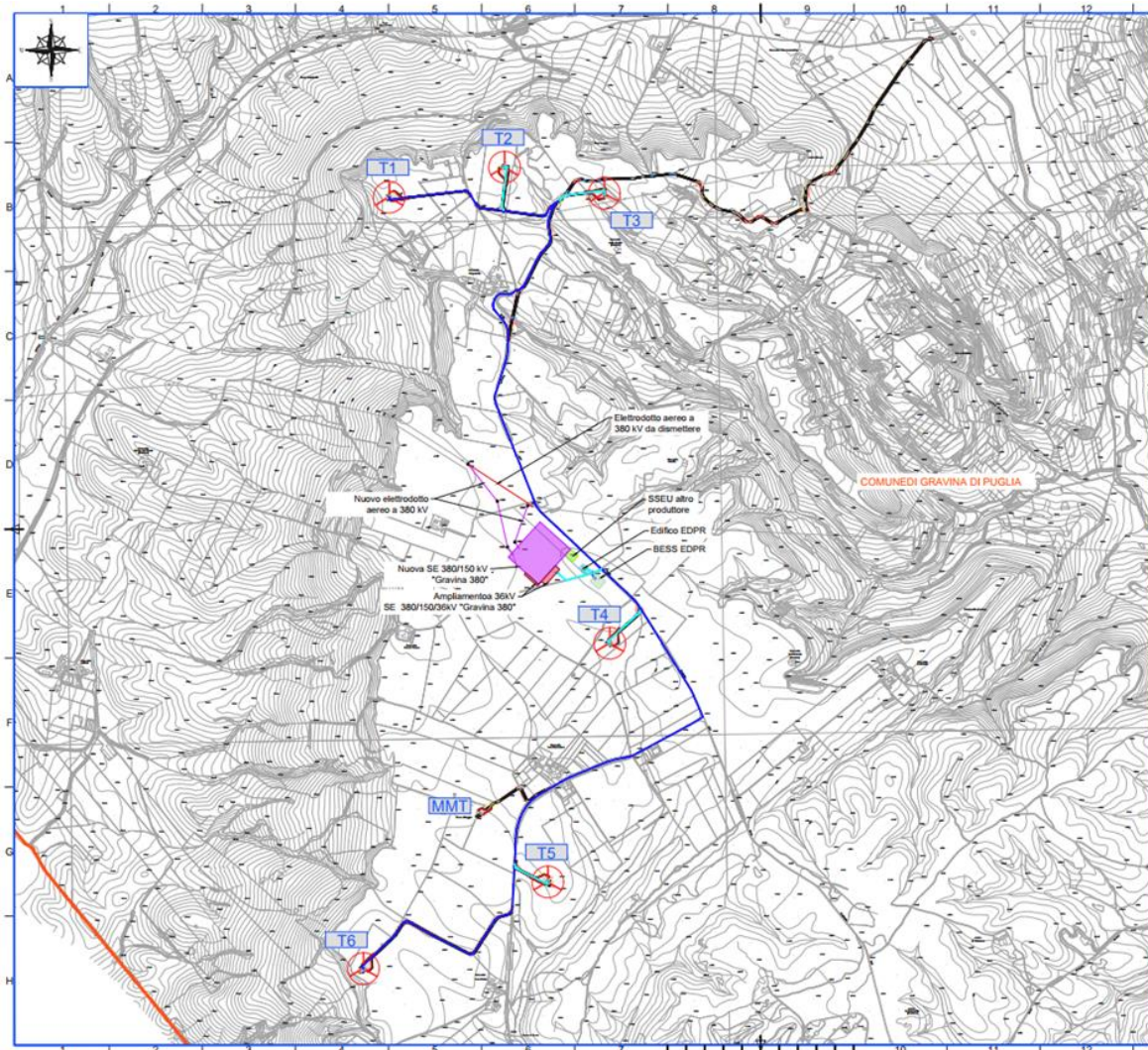


Figura 2.3: Inquadramento impianto su CTR 1:10.000

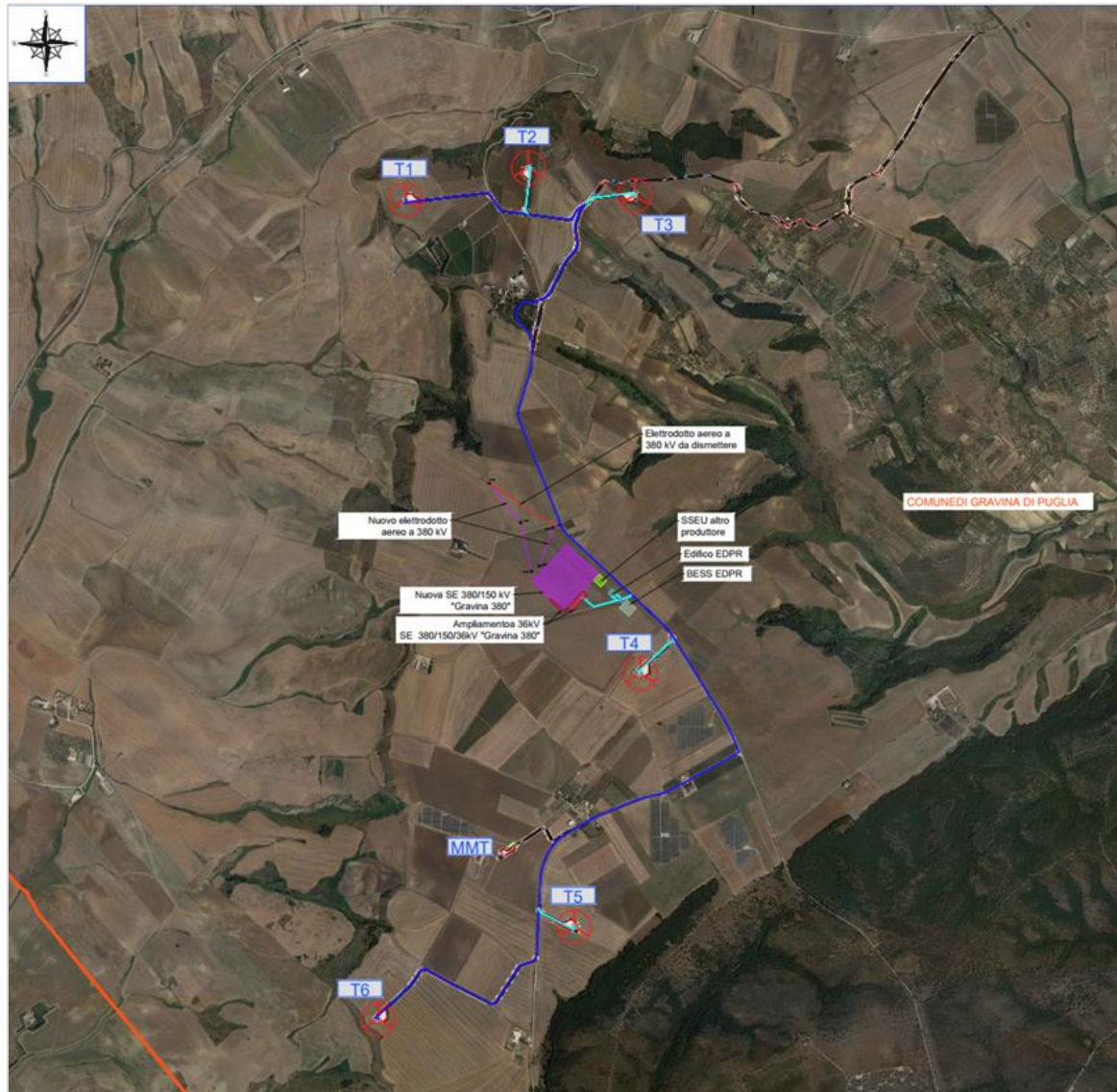


Figura 2.4: Inquadramento impianto su ortofoto



### 3 PROGETTO DELLE OPERE IDRAULICHE

#### 3.1 APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE

La durabilità delle strade e delle piazzole del parco eolico “San Domenico” è garantita da un efficace sistema idraulico di drenaggio delle acque meteoriche. Gli interventi da realizzarsi nell’area in esame sono stati sviluppati secondo due differenti linee di obiettivi:

- **garantire l’invarianza idraulica**, attraverso il mantenimento delle condizioni di “equilibrio idrologico-idraulico” esistenti *ante operam*: le opere in progetto non determineranno alcun incremento della portata di piena dei corpi idrici riceventi i deflussi superficiali originati dalle superfici interessate dagli interventi. Tale approccio consentirà di preservare e proteggere l’equilibrio idraulico naturale del sito e di garantire la resilienza del sistema per far fronte ai cambiamenti climatici futuri.
- **drenare il sito efficacemente**, attraverso la regimazione e controllo delle acque che defluiscono lungo la viabilità del parco in progetto, mediante una adeguata rete drenante, volta a proteggere le infrastrutture del parco eolico.

Il tracciato delle opere di regimazione è stato definito a partire dal DTM con maglia 10 m (prodotto dalla Regione Puglia), dai rilievi topografici effettuati, dalla CTR e dalla progettazione della viabilità del parco, individuando le vie preferenziali di deflusso, gli impluvi interessati dalle opere in progetto nonché le caratteristiche plano-altimetriche dei tracciati.

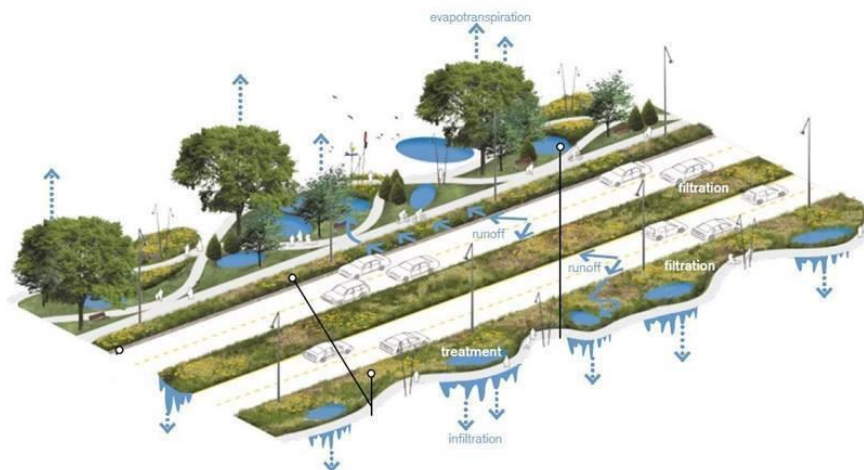


Figura 3.1: Esempio progettazione stradale in ottica SuDS (Sustainable Drainage Systems), ripensata secondo i principi di invarianza idraulica. Fonte: Huber, J., 2010. *Low Impact Development: a Design Manual for Urban Areas*.

#### 3.2 INVARIANZA IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO

Come anticipato, la realizzazione delle opere in progetto mantiene **inalterata, a scala globale, l’equilibrio tra afflussi e deflussi dei bacini sottesi ai punti di immissione nei**



**corpi idrici ricettori.** Le nuove opere a servizio del parco eolico “*San Domenico*” (nuova viabilità e nuove piazzole) rispettano infatti i principi dell’invarianza idraulica; in particolare:

1. le caratteristiche di permeabilità dei diversi bacini interessati dalle opere subiscono modifiche pressoché nulle e, pertanto, la variazione tra la situazione *ante* e *post* interventi è irrilevante e trascurabile. Il coefficiente di afflusso dei bacini (con il quale determinare l’aliquota di afflussi infiltrati) si mantiene infatti sostanzialmente invariato, data la minima (o nulla) variazione della permeabilità delle aree in seguito alla realizzazione degli interventi<sup>1</sup>.
2. La realizzazione dell’impianto non prevede elementi impermeabili sul terreno ma opere con inerti, altamente permeabili, in corrispondenza delle piazzole e della viabilità di servizio. In ogni caso, si sottolinea come le aree occupate da strade e piazzole hanno dimensioni trascurabili rispetto ai bacini ove esse scolano (0,2%-4%).
3. Dal momento che la viabilità di progetto non sottende di norma alcun bacino scolante di dimensioni apprezzabili - e considerando che la nuova viabilità presenta dei punti di minimo che coincidono con punti di minimo orografici del terreno - si può affermare che le infrastrutture viarie di parco non modificano la risposta di ciascun bacino per tutti gli aspetti che riguardano i meccanismi di formazione dei deflussi (morfometria, percorsi di corrivazione, permeabilità, etc.) e non determinano alcun aumento di portata,  $\Delta Q$ , sui corpi idrici ricettori.
4. Le opere idrauliche previste in progetto rispettano il regime idraulico *ante operam*: le acque meteoriche, infatti, vengono sempre recapitate presso gli impluvi naturali ove esse erano già precedentemente e naturalmente convogliate per ragioni orografiche<sup>2</sup>.

I punti di scarico dei fossi di guardia saranno realizzati, ove necessario, in uno con opere di dissipazione finalizzate al rallentamento della corrente idraulica ed alla limitazione dei fenomeni erosivi. Lungo la viabilità di progetto, gli scarichi avverranno in corrispondenza di impluvi naturali di modesta entità.

Come detto, tali immissioni saranno dotate di sistemi di dissipazione che consentiranno puntualmente l’annullamento dei rischi di fenomeni erosivi nel rispetto dell’equilibrio idrogeologico esistente: verrà garantito il convogliamento delle acque di scarico, prestando attenzione che l’immissione in piccoli impluvi esistenti e/o piccoli solchi di erosione esistenti avvenga con angoli inferiori o uguali ai 30°.

A tal uopo, nell’elaborato grafico SDMPDT39, facente parte del presente progetto

---

<sup>1</sup> Per effetto della presenza di misto stabilizzato compattato, utilizzato come strato di finitura per la nuova viabilità, e le piazzole il coefficiente di afflusso  $\phi_p$  è compreso in un range 0.30-0.35 (strato drenante, da letteratura). **Le caratteristiche di permeabilità delle nuove aree risultano pressoché identiche a quelle del terreno naturale esistente.**

<sup>2</sup> Si evidenzia che tali scarichi delle acque meteoriche negli impluvi naturali sono di modesta entità in riferimento agli apporti dell’intero bacino scolante.

definitivo, è riportata una planimetria con l'individuazione dei punti di scarico, dei bacini idrografici interessati dalle opere e del reticolo idrografico esistente da CTR.

Le opere in progetto, pertanto, non alterano in nessun modo né il reticolo idrografico esistente né le portate che dagli impluvi esistenti arrivano verso i “canali naturali” presenti a valle.

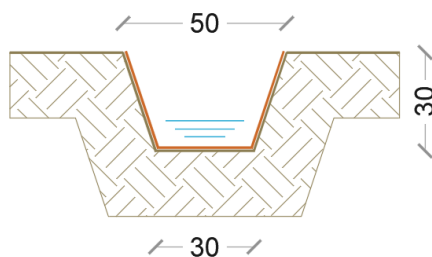
### 3.3 OPERE IDRAULICHE

Le opere idrauliche previste in progetto sono di seguito elencate; per i particolari costruttivi ed ulteriori dettagli si rinvia agli elaborati grafici dedicati.

**Fosso di guardia “Tipo A”**, in terra e rivestito con geostuoia antierosione, avente le seguenti caratteristiche geometriche:

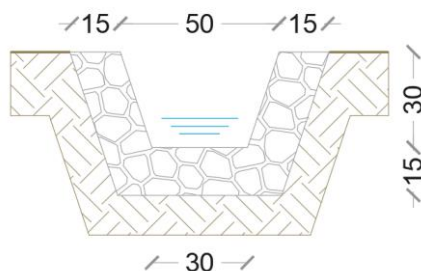
*Sezione trapezia*

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| Larghezza base [m]          | 0,30 |
| Larghezza in superficie [m] | 0,50 |
| Altezza [m]                 | 0,30 |



La geostuoia di rivestimento è ad alto indice di vuoti, in monofilamenti di polipropilene fissati termicamente nei punti di contatto (con spessori variabili).

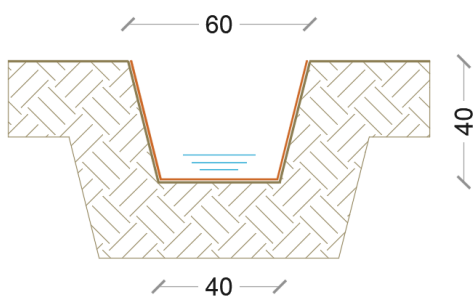
Nei tratti con **pendenze comprese tra 7,00 e 12,50%** tali fossi di guardia in terra non sono rivestiti con geostuoia, ma presentano il fondo e le sponde rivestiti con pietrame di media pezzatura ( $d=5-10$  cm), per uno spessore di 15 cm, al fine di ridurre l'azione erosiva della corrente idrica. Tale tipologia è identificata con la denominazione “**fosso di guardia tipo AP**”.



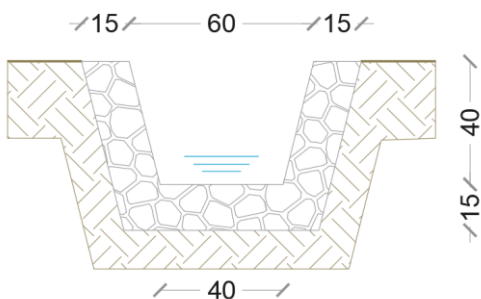
**Fosso di guardia “Tipo B”**, in terra e rivestito con geostuoia antierosione, avente le seguenti caratteristiche geometriche:

*Sezione trapezia*

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| Larghezza base [m]          | 0,40 |
| Larghezza in superficie [m] | 0,60 |
| Altezza [m]                 | 0,40 |



Anche il fosso di guardia “Tipo B”, nei tratti con pendenze comprese tra 7,00 e 12,50%, non è rivestito con geostuoia ma presenta il fondo e le sponde rivestiti con pietrame di media pezzatura ( $d=5-10$  cm), per uno spessore complessivo di 15 cm, ed assume la denominazione “**fosso di guardia tipo BP**”.

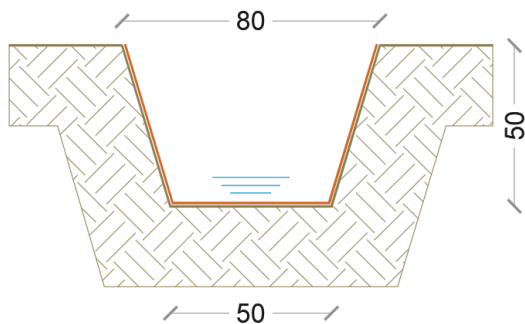


**Fosso di guardia “Tipo C”**, in terra e rivestito con geostuoia antierosione, avente le seguenti caratteristiche geometriche:

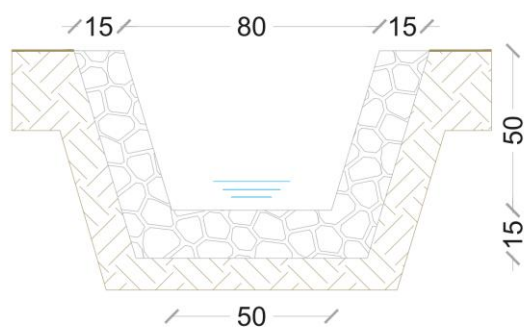
*Sezione trapezia*

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| Larghezza base [m]          | 0,50 |
| Larghezza in superficie [m] | 0,80 |
| Altezza [m]                 | 0,50 |

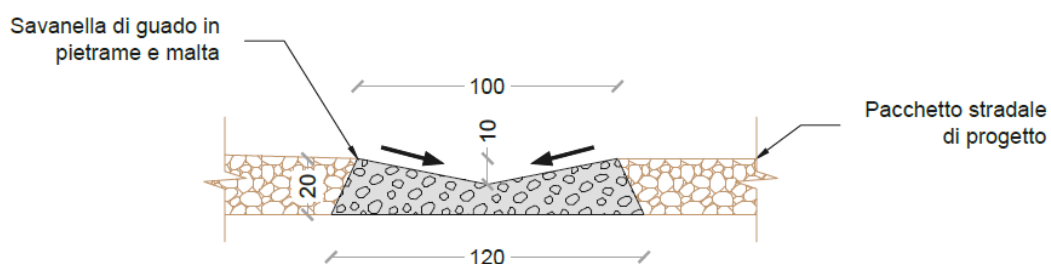




Analogamente ai precedenti, il fosso di guardia “tipo C”, nei tratti con pendenze comprese tra 7,00 e 12,50%, presenta il fondo e le sponde rivestiti con pietrame di media pezzatura ( $d=5-10$  cm), per uno spessore complessivo di 15 cm, ed assume la denominazione “**fosso di guardia tipo CP**”.



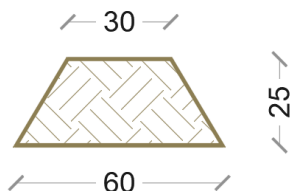
**Savanelle di guado in pietrame e malta** per un attraversamento “a raso” della viabilità di progetto.



**Opere di dissipazione:** tali opere sono poste al termine degli scarichi, in modo tale da ridurre l'energia della corrente idrica reimpressa negli impluvi naturali e limitare quindi l'erosione dei versanti. Sono previste opere di dissipazione con pietrame di grandi dimensioni ( $D > 40$  cm), con differente geometria in funzione delle caratteristiche della corrente in uscita e del corpo idrico ricettore.

**Arginelli in terra** aventi le seguenti caratteristiche geometriche:

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| Larghezza base [m]          | 0,60 |
| Larghezza in superficie [m] | 0,30 |
| Altezza [m]                 | 0,25 |



**Attraversamenti “Tipo A” in corrispondenza dei punti di scarico:** tale tipologia di attraversamento è necessaria per lo scarico delle acque meteoriche (di piattaforma ed eventualmente provenienti dai versanti) intercettate dai fossi di guardia.

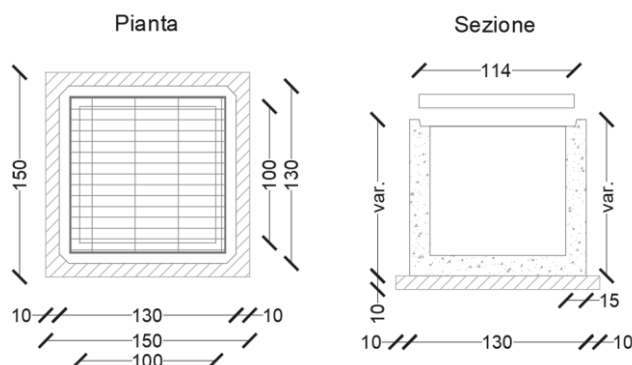
Gli attraversamenti (n°20 in tutto) sono realizzati con tubazioni in HDPE CRG SN8 (DE variabile) e prevedono (i) *in ingresso* un pozzetto per ispezione e raccordo con il fosso di guardia ed (ii) *in uscita* lo scarico diretto presso gli impluvi esistenti (o con la presenza di un altro pozzetto), previa opera di dissipazione in pietrame.

Di seguito (Figura 3.2) si riportano le sezioni longitudinali e trasversali dell'*attraversamento tipo* ed una pianta dello stesso attraversamento.

**Attraversamenti “Tipo AT” in corrispondenza di interferenze con reticolo idrografico:**

tale tipologia è necessaria per risolvere l'interferenza tra la viabilità e gli impluvi esistenti. Gli attraversamenti (n°4 in tutto) sono realizzati con tubazioni circolari in lamiera ondulata “ tipo ARMCO” DN1000.

**Pozzetti in cls prefabbricato,** aventi dimensioni interne 100x100 cm e spessore delle pareti pari a 0,15 m; l'altezza sarà variabile in funzione delle peculiarità delle quote dei fossi di guardia (o delle tubazioni in HDPE CRG) in ingresso e uscita.







## 4 MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI

Le portate di progetto sono state calcolate attraverso *metodi indiretti*, che consentono la determinazione delle portate di piena a partire dalle precipitazioni che si abbattano sui diversi bacini. Nello specifico, si è valutata la portata di piena con la *formula razionale*.

La *formula razionale* consente la valutazione della portata di piena di assegnato tempo di ritorno T mediante la seguente relazione:

$$Q_T = \frac{\varphi \cdot i_T \cdot S}{3,6}$$

ove:

- $Q_T$  è la portata di piena di assegnato tempo di ritorno T ed è espressa in m<sup>3</sup>/s;
- $\varphi$  è il coefficiente di afflusso, adimensionale;
- $i_T$  è l'intensità critica della precipitazione di assegnato tempo di ritorno (corrispondente al tempo di corrivazione) in mm/h;
- S è la superficie del bacino espressa in km<sup>2</sup>;
- 3,6 è un fattore di conversione delle unità di misura.

La modellazione matematica dei fenomeni idrologico-idraulici, innescati dalle precipitazioni sull'area di progetto, segue il processo descritto nei paragrafi seguenti.

### 4.1 INDIVIDUAZIONE DELLA PIOGGIA CRITICA

Dopo avere ricostruito le relazioni intensità-durata-frequenza (IDF, espresse dalla c.p.p.) è necessario individuare la *l'intensità critica* della precipitazione, cioè l'intensità costante di quella pioggia, supposta anche uniformemente distribuita sul bacino, che determina la portata massima nell'idrogramma di piena di tempo di ritorno T.

La pioggia critica è quella di intensità pari al tempo di corrivazione o di concentrazione  $\tau_c$ , definito come segue:

- il tempo di corrivazione di un bacino è quello necessario alla goccia di pioggia che cade nel punto idraulicamente più lontano per raggiungere la sezione di chiusura del bacino;
- il tempo di corrivazione è quel tempo che, una volta eguagliato dalla durata della precipitazione (precipitazione *critica*, ovvero che mette in crisi la rete idrografica), determina il raggiungimento del valore più elevato di portata nella sezione di chiusura del bacino.

Esso può essere calcolato tramite diverse formule; nel caso in esame, e cioè per piccoli bacini (aventi estensione inferiore a 1 km<sup>2</sup>), il tempo di corrivazione è calcolato attraverso la formula di Kirpich:

$$t_c = 0.01947 \frac{L^{0.77}}{i^{0.385}}$$

dove  $\tau_c$  è espresso in minuti, L (lunghezza dell'asta principale, a partire dallo spartiacque) è espressa in metri ed  $i$  è la pendenza media del percorso (m/m).

## 4.2 IL COEFFICIENTE DI AFFLUSSO

L'infiltrazione costituisce il fenomeno di maggiore rilevanza per la determinazione del bilancio tra pioggia sul bacino e pioggia efficace ai fini del deflusso nei bacini scolanti. Nell'applicare un modello afflussi-deflussi risulta pertanto necessario quantificare le perdite per infiltrazione allo scopo di potere valutare la pioggia netta, ovvero quella che dà effettivamente luogo al deflusso. Nel presente studio, all'interno della formula razionale, è stato utilizzato il *metodo del coefficiente di afflusso*  $\Phi$ . Tale coefficiente rappresenta il rapporto tra il volume totale di deflusso e il volume totale di pioggia caduto sull'area sottesa ad una data sezione, e il suo uso comporta considerare le perdite proporzionali all'intensità media di pioggia.

La stima del valore di  $\varphi$  è stata condotta a partire da un'analisi del "Corine Land Cover 2012 – IV Livello". Le aree in corrispondenza delle quali saranno ubicate le opere in progetto sono caratterizzate prevalentemente da superfici agricole utilizzate (seminativi in aree non irrigue e zone agricole eterogenee).

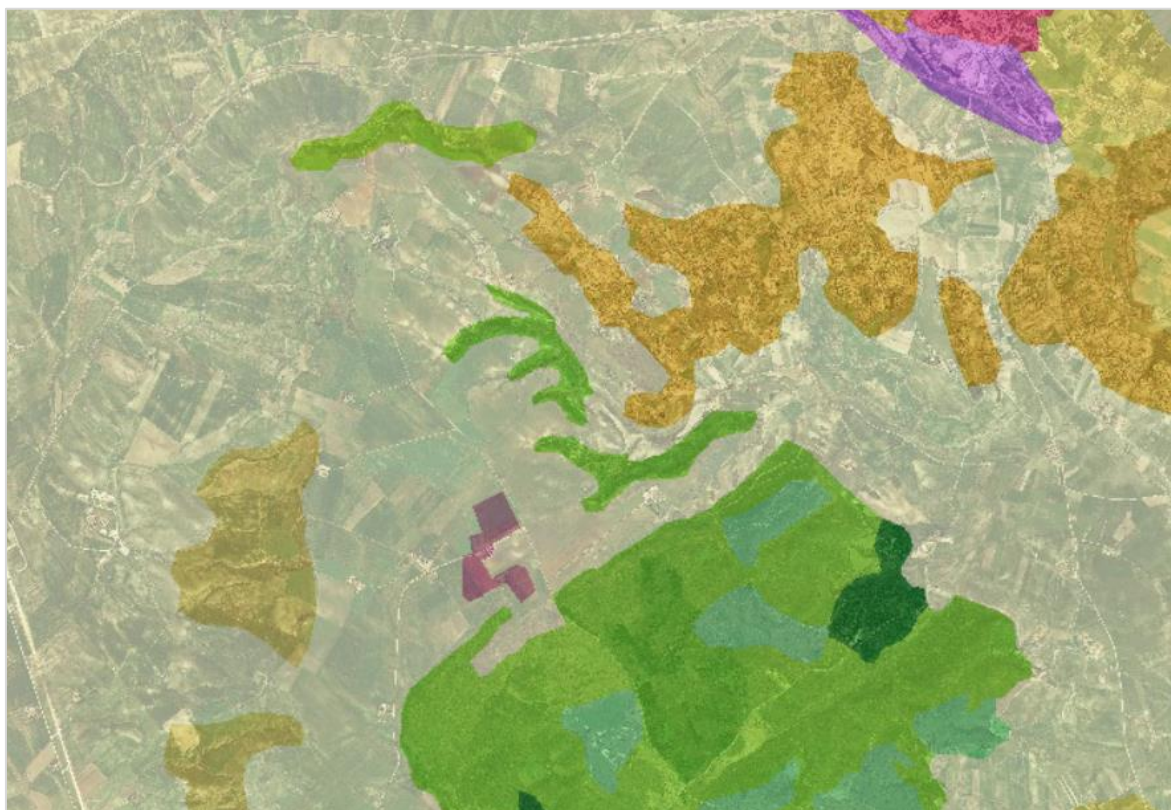


Figura 4.1: Corine Land Cover 2012 – IV Livello per le aree oggetti di intervento.

Pertanto, relativamente a ciascuna superficie omogenea (tipo di suolo, tessitura, caratteristiche locali di permeabilità) il coefficiente di afflusso è stato definito facendo riferimento ai valori tabellati da Benini (*Sistemazioni idraulico-forestali*, 1990) in fig.5.2. Nello specifico, si sono utilizzati i seguenti valori del coefficiente di afflusso  $\varphi$ :

- $\varphi = 0.30$  per pavimentazioni in misto granulometrico (con buona capacità drenante);
- $\varphi = 0.35$  per terreni coltivati mediamente permeabili.

Per ciascun bacino, ai fini del calcolo della portata di progetto, il coefficiente di afflusso è stato calcolato secondo la formula seguente:

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot A_i}{A_{tot}}$$

ove  $\varphi_i$  è il coefficiente di afflusso dell'area elementare  $A_i$  ed  $A_{tot}$  è la superficie complessiva del bacino. In questa maniera, il valore del coefficiente di afflusso (per ogni bacino) è dato dalla media pesata dei coefficienti di ciascuna area elementare in cui il bacino è divisibile.

| Tipo di suolo   | Copertura del bacino |         |        |
|---|----------------------|---------|--------|
|   | Coltivazioni         | Pascoli | Boschi |
| Molto permeabile (sabbioso o ghiaioso)  | 0.20                 | 0.15    | 0.10   |
| Mediamente permeabile (Terreni di medio impasto, Terreni senza strati di argilla)   | 0.40                 | 0.35    | 0.30   |
| Poco Permeabili (Suoli argillosi, con strati di argilla in prossimità della superficie, suoli poco profondi su substrato roccioso impermeabile) | 0.50                 | 0.45    | 0.40   |

Figura 4.2: Valori del coefficiente  $\varphi$  del metodo razionale per diversi tipi di superficie, in funzione della tipologia di suolo e della copertura del bacino (Benini, 1990 e Ferro, 2006).

### 4.3 IL CALCOLO DELLE PORTATE

Per la verifica dei fossi di guardia Tipo A, B e C sono stati selezionati tre bacini *rappresentativi*<sup>3</sup> tra quelli presenti nel progetto, uno per ciascuna tipologia di opera idraulica; per tali bacini i valori delle portate corrispondenti al tempo di ritorno di interesse ( $T=50$  anni), insieme agli altri parametri posti alla base del calcolo, sono riassunti nelle tabelle sottostanti.

Nello specifico, le grandezze caratteristiche poste a base dei calcoli, insieme alle rispettive U.M. sono:

<sup>3</sup> I bacini "*rappresentativi*" (BV) sono quelli, tra i bacini afferenti alla viabilità di progetto, che determinano il valore maggiore di portata di deflusso, in funzione della loro superficie/pendenza; con riferimento a tale portata, ogni fosso di guardia risulta idraulicamente e tecnicamente compatibile.



- ID Bacino (la perimetrazione ha riguardato i bacini che insistono su viabilità e piazzole del Parco Eolico “*San Domenico*”);
- Superficie del bacino drenante S (sia in m<sup>2</sup> che in km<sup>2</sup>);
- Lunghezza dell’asta principale L (in m);
- Quota massima dell’asta principale, H<sub>max</sub> (m);
- Quota minima dell’asta principale, H<sub>min</sub> (m);
- Dislivello geodetico tra gli estremi dell’asta, Δh (m);
- Pendenza media del percorso *i* (%);
- Durata dell’evento pluviometrico critico, pari al tempo di corrivazione t<sub>c</sub> (in minuti);
- Coefficiente di afflusso φ;
- Valore dell’intensità critica *i<sub>T</sub>* (mm/h);
- Portata al colmo della piena, Q, (in m<sup>3</sup>/s);

Le tabelle che seguono sono pertanto relative al calcolo della portata di progetto (relativa a ciascun bacino BV) causata da un evento pluviometrico critico di fissato tempo di ritorno T.

Caratteristiche del bacino

| ID Bacino | Superficie S      |                    | Lunghezza asta L (m) | H max | H min | Δh   | Pendenza media <i>i</i> | Tempo di corrivazione t <sub>c</sub> | Intensità critica (h<1 ora) | Coefficiente di afflusso φ <sub>A</sub> | Portata Q <sub>A</sub> |
|-----------|-------------------|--------------------|----------------------|-------|-------|------|-------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|---|------------------------|
|           | [m <sup>2</sup> ] | [km <sup>2</sup> ] |                      |       |       |      |                         |                                      |                             |   |                        |
| BV1       | 5773              | 0.00577            | 188.0                | 458.0 | 455.0 | 3.00 | 1.60%                   | 5.40                                 | 396.99                      | 0.35                                    | 0.223                  |
| BV2       | 16386             | 0.01639            | 187.0                | 448.5 | 446.5 | 1.95 | 1.04%                   | 6.33                                 | 350.89                      | 0.30                                    | 0.479                  |
| BV3       | 41705             | 0.04171            | 314.0                | 453.6 | 450.0 | 3.60 | 1.15%                   | 9.10                                 | 265.12                      | 0.30                                    | 0.921                  |

## 5 VERIFICA DELLE OPERE PROGETTATE

### 5.1 PRE-DIMENSIONAMENTO FOSSI DI GUARDIA

Il dimensionamento delle opere idrauliche è stato condotto in due differenti fasi: una prima fase di pre-dimensionamento e una seconda di verifica.

Nella fase di pre-dimensionamento è stata assegnata una sezione “tipo” a ciascuna opera idraulica, in funzione dell’orografia, della pendenza, delle necessità tecniche e della estensione delle superfici scolanti sottese alla sezione di scarico. Tale assegnazione è stata effettuata anche grazie a un grafico  $Q(i)$  (Figura 6.1) nel quale, in funzione della superficie del bacino drenato ( $S$ ) e della pendenza  $i$  del fosso di guardia, è possibile individuare la sezione tipo dell’opera idraulica da prevedere (dimensioni, caratteristiche del rivestimento e presenza di salti di fondo).

Per il caso in studio, tale grafico è stato definito tenendo in considerazione le caratteristiche dei bacini scolanti e la geometria dei fossi di guardia selezionati, ed è riportato in Figura 6.2.

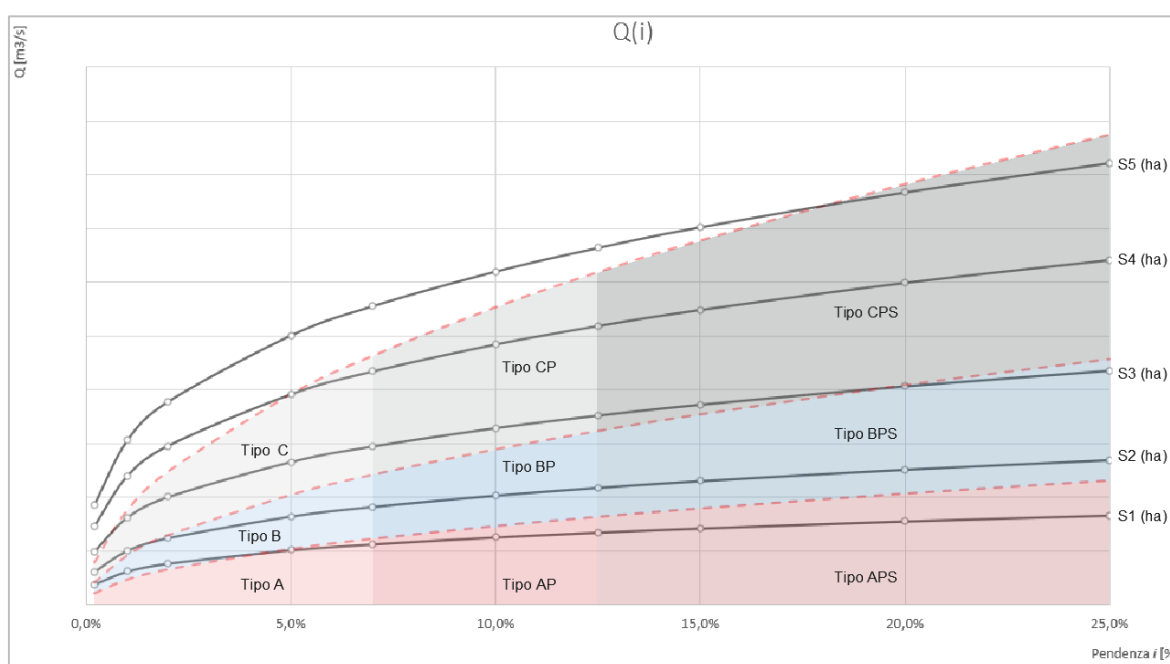


Figura 5.1: Tipologia di grafico  $Q(i)$  con individuazione delle zone omogenee per il pre-dimensionamento dei fossi di guardia.

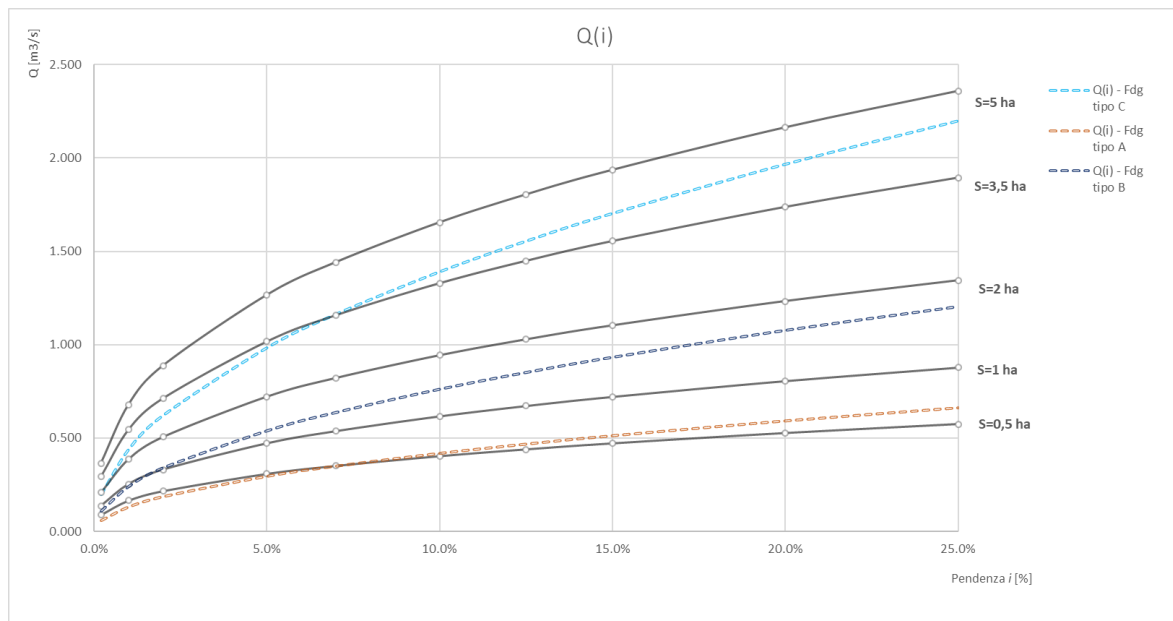


Figura 5.2: Definizione del grafico  $Q(i)$  per il caso in studio, con riferimento ad un tempo di ritorno  $T$  pari a 50 anni.

## 5.2 VERIFICA FOSSI DI GUARDIA

La seconda fase prevede la verifica della capacità idraulica dei canali, prevedendo un franco minimo di 3 cm per ragioni di sicurezza. La verifica della capacità idraulica delle opere è stata effettuata in condizioni di moto uniforme, utilizzando la formula di Chezy:

$$Q = \chi \cdot A \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

dove:

- $Q$  è la portata che defluisce nel fosso di guardia ( $\text{m}^3/\text{s}$ );
- $\chi$  è il coefficiente di scabrezza;
- $A$  è l'area della sezione bagnata (in  $\text{m}^2$ );
- $R$  è il raggio idraulico (in m), dato dal rapporto tra sezione idrica e perimetro bagnato  $P$ ;
- $i$  è la pendenza del canale.

Per il valore del coefficiente  $\chi$ , si è scelto di usare la formula di Gauckler-Strickler:

$$\chi = k_s \cdot R^{\frac{1}{6}}$$

in cui  $k_s$  è l'indice di scabrezza di *Gauckler-Strickler*, (in  $\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ ); in questo caso l'espressione della scala delle portate di moto uniforme si semplifica, risultando particolarmente adeguata ai problemi di progetto:

$$Q = k_s \cdot A \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

La scelta della formula per il calcolo del coefficiente  $\chi$  ha un'importanza marginale rispetto alla possibilità di scegliere un valore adeguato dell'indice di scabrezza che vi figura; i valori sono stati desunti da Chow W.T. (*Applied hydrology*, 1988). Per i fossi di guardia è stato scelto un indice di scabrezza  $k_s$  pari a  $36 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$  nell'ipotesi di canale in terra con fondo in ciottoli e sponde pulite.

**Le verifiche sono risultate positive**, rispettando gli opportuni franchi di sicurezza; le tipologie di opere idrauliche individuate in fase di pre-dimensionamento sono risultate aderenti alle necessità di controllo e di smaltimento delle acque meteoriche verso gli impluvi naturali del sito in esame<sup>4</sup>.

A scopo esemplificativo, si riportano i calcoli effettuati per le portate relative ai bacini BV1 – BV2 e BV3 con i quali sono state dimensionate le tre tipologie (geometriche) di fossi di guardia previste nel presente progetto.

| Caratteristiche del canale |                 |                                 |   | Verifica/Progetto         |                               |                              |                             |   | Parametri di verifica |                                   |                   |
|----------------------------|-----------------|---------------------------------|---|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---|-----------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Tipologia sezione          | Bacino scolante | Pendenza del canale, $i$<br>[%] | Portata di progetto, $Q_p$<br>[m <sup>3</sup> /s] | Tirante idrico $h$<br>[m] | Area $A$<br>[m <sup>2</sup> ] | Perimetro bagnato $P$<br>[m] | Raggio idraulico $R$<br>[m] | Portata in condizioni di moto uniforme $Q_{max}$<br>[m <sup>3</sup> /s] | Velocità $v$<br>[m/s] | Grado di riempimento $h/H$<br>[-] | Franco $f$<br>[m] |
| <b>F1</b>                  | BV1             | 3.50%                           | 0.223   | 0.34                      | 0.13                          | 0.99                         | 0.13                        | 0.223   | 1.73                  | 0.84                              | 0.06              |
| <b>F2</b>                  | BV2             | 3.75%                           | 0.479   | 0.46                      | 0.23                          | 1.33                         | 0.17                        | 0.479   | 2.13                  | 0.92                              | 0.04              |
| <b>F3</b>                  | BV3             | 3.80%                           | 0.921   | 0.57                      | 0.36                          | 1.67                         | 0.22                        | 0.921   | 2.54                  | 0.94                              | 0.03              |

In particolare, per ciascun bacino di riferimento, sono riportati i seguenti elementi:

- Tipologia del fosso di guardia adottato;
- Bacino scolante;
- Tirante idrico  $h$  (m), sezione idrica  $A$  (m<sup>2</sup>), contorno bagnato  $P$  (m), raggio idraulico  $R$  (m) con riferimento alla portata di progetto;
- Pendenza  $i$  dell'opera idraulica (%)
- Portata di progetto  $Q_{max,T}$  in m<sup>3</sup>/s;
- Velocità con cui defluisce la portata di progetto (m/s);
- Grado di riempimento del fosso di guardia, dato dal rapporto tra il tirante idrico di progetto e l'altezza della sezione;
- Franco (espresso in m) dato dalla differenza tra l'altezza della sezione ed il tirante corrispondente alla portata di progetto.

<sup>4</sup> Si evidenzia che la scelta delle tipologie di opere, sia in termini di geometria che di materiali, non è legata ad un mero dimensionamento di tipo idraulico. Sono state tenute in considerazione infatti, anche se non direttamente esplicitate nei calcoli, caratteristiche come (i) l'interrimento fisiologico delle opere idrauliche (benché mantenute con regolarità), (ii) il carattere delle precipitazioni in accordo al *climate changing* (precipitazioni di notevole intensità e breve durata con tempi di ritorno elevati) e (iii) le dimensioni "minime" legate alle effettive funzioni alle quali le opere devono assolvere (indipendentemente, quindi, dal tirante idrico di moto uniforme derivante dal calcolo).



## 6 PROGETTO ATTRAVERSAMENTI

Si premette, in modo analogo a quanto detto per i fossi di guardia, che la scelta delle tipologie di opere, sia in termini di geometria che di materiali, non è legata ad un mero dimensionamento di tipo idraulico. Sono state tenute in considerazione, infatti, anche se non direttamente esplicitate nei calcoli, caratteristiche come (i) l'interrimento fisiologico delle opere idrauliche (benché mantenute con regolarità), (ii) il carattere delle precipitazioni in accordo al *climate changing* e (iii) le dimensioni “minime” legate alle effettive funzioni alle quali le opere devono assolvere.

### 6.1 CALCOLO IDRAULICO

Il dimensionamento delle sezioni di attraversamento consiste nel determinare le dimensioni da assegnare alle sezioni (nel caso specifico, le tubazioni in HDPE CRG SN8) in modo tale che la portata di progetto  $Q_T$  possa transitare con un tirante idrico  $h$  in grado di assicurare un adeguato franco di sicurezza.

Date le caratteristiche del materiale solido trasportato dalla corrente, per evitare il rischio di occlusione ed interrimento, si prevede un grado di riempimento massimo pari a 0,85h.

Anche in questo caso, la verifica della capacità idraulica degli attraversamenti è stata effettuata utilizzando la formula di Chezy per la determinazione della scala delle portate di moto uniforme:

$$Q = k_s \cdot A \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

avendo utilizzato, per la determinazione del coefficiente di scabrezza  $\chi$ , la formula di Gauckler-Strickler. I diversi termini che compaiono nella formula di Chezy sono stati in precedenza esplicitati nel capitolo 6.

Per quanto riguarda l'indice di scabrezza  $k_s$ , per materiali di tipo plastico, esso è posto pari a  $100 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$  (valore medio relativo a pareti lisce internamente). Per ciascun attraversamento, nelle tabelle dei paragrafi successivi, sono riportati i seguenti valori:

- Descrizione della condotta;
- Diametro esterno/Diametro interno (mm);
- Pendenza  $i$  [%];
- Tirante idrico  $h$  (m), sezione idrica  $A$  (m<sup>2</sup>), contorno bagnato  $P$  (m), raggio idraulico  $R$  (m) con riferimento alla portata di progetto;
- Portata di progetto  $Q_p$  in m<sup>3</sup>/s;
- Velocità  $v$  con cui defluisce la portata di progetto (m/s);

- *Grado di riempimento  $h/D$* , dato dal rapporto tra il tirante idrico di progetto e il diametro della sezione circolare;
- *Franco* (espresso in m) dato dalla differenza tra il diametro interno della condotta ed il tirante idrico corrispondente alla portata di progetto;
- *Scala delle portate di moto uniforme*.

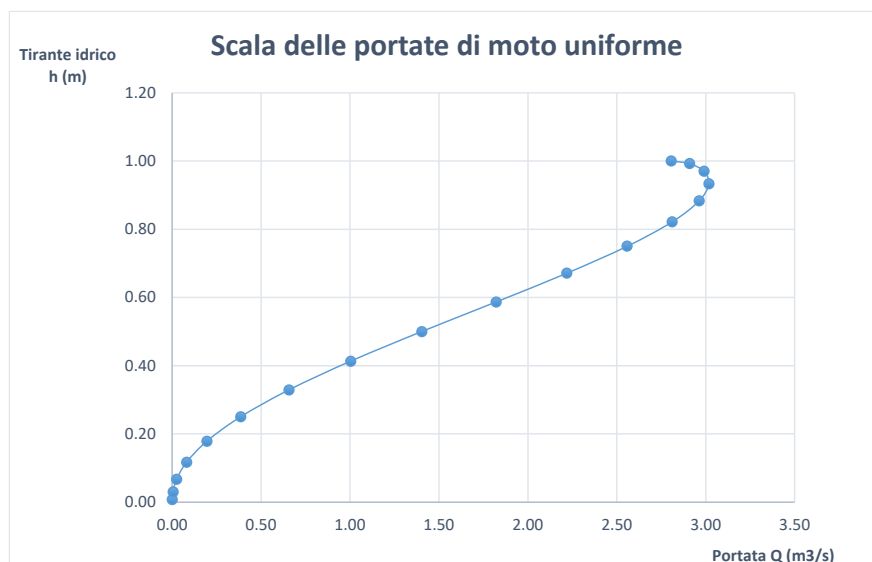
### 6.1.1 Attraversamento AT01

#### Caratteristiche della sezione

| Tipologia sezione                                | ARMCO |                       |
|--|-------|-----------------------|
| Diametro interno, <b>Di</b>                      | 1000  | [mm]                  |
|  | 1.00  | [m]                   |
| Coefficiente di scabrezza di Strickler <b>ks</b> | 90    | [m <sup>1/3</sup> /s] |
| Pendenza, <b>i</b>                               | 1.00% | [%]                   |

#### Verifica/Progetto

|   |      |                     |
|---|------|---------------------|
| Portata di progetto, <b>Q<sub>p</sub></b>                     | 2.43 | [m <sup>3</sup> /s] |
| Tirante idrico, <b>h</b>                                      | 0.72 | [m]                 |
| <b>α</b>  | 4.04 | [rad]               |
| Area, <b>A</b>  | 0.60 | [m <sup>2</sup> ]   |
| Perimetro bagnato, <b>P</b>                                   | 2.02 | [m]                 |
| Raggio idraulico, <b>R</b>                                    | 0.30 | [m]                 |
| Portata in condizioni di moto uniforme <b>Q<sub>max</sub></b> | 2.42 | [m <sup>3</sup> /s] |
| Velocità  | 4.02 | [m/s]               |
| Grado di riempimento, <b>h/D</b>                              | 0.72 | [-]                 |
| Franco <b>f</b>   | 0.28 | [m]                 |



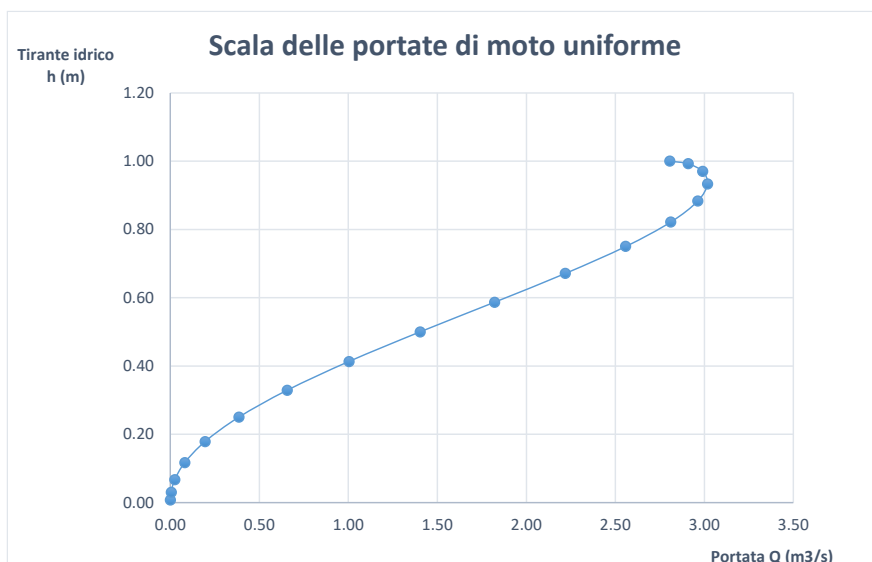
### 6.1.2 Attraversamento AT02

#### Caratteristiche della sezione

| Tipologia sezione                                | ARMCO |                       |
|--|-------|-----------------------|
| Diametro interno, <b>Di</b>                      | 1000  | [mm]                  |
|  | 1.00  | [m]                   |
| Coefficiente di scabrezza di Strickler <b>ks</b> | 90    | [m <sup>1/3</sup> /s] |
| Pendenza, <b>i</b>                               | 1.00% | [%]                   |

#### Verifica/Progetto

|   |      |                     |
|---|------|---------------------|
| Portata di progetto, <b>Q<sub>p</sub></b>                     | 2.67 | [m <sup>3</sup> /s] |
| Tirante idrico, <b>h</b>                                      | 0.78 | [m]                 |
| <b>α</b>  | 4.33 | [rad]               |
| Area, <b>A</b>  | 0.66 | [m <sup>2</sup> ]   |
| Perimetro bagnato, <b>P</b>                                   | 2.16 | [m]                 |
| Raggio idraulico, <b>R</b>                                    | 0.30 | [m]                 |
| Portata in condizioni di moto uniforme <b>Q<sub>max</sub></b> | 2.67 | [m <sup>3</sup> /s] |
| Velocità  | 4.06 | [m/s]               |
| Grado di riempimento, <b>h/D</b>                              | 0.78 | [-]                 |
| Franco <b>f</b>   | 0.22 | [m]                 |



### 6.1.3 Attraversamento AT03

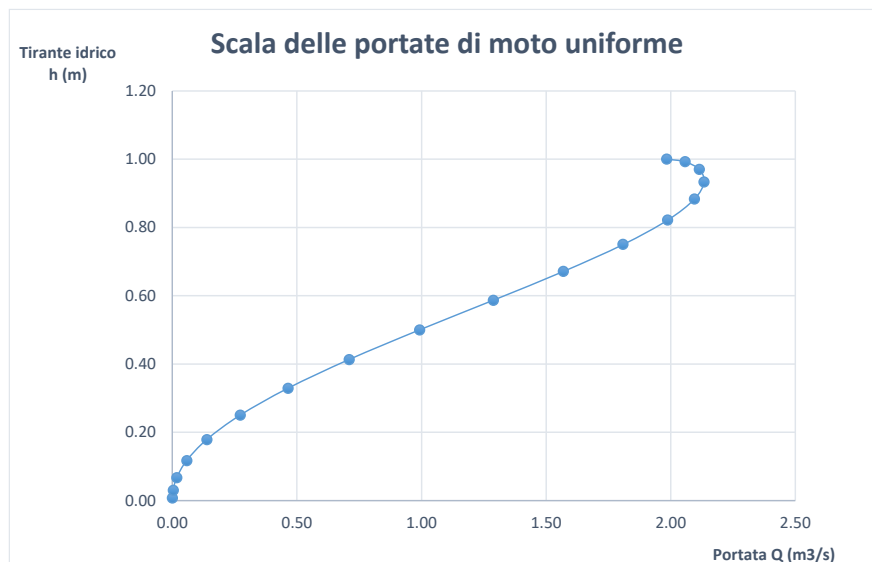
#### Caratteristiche della sezione

|  |       |                       |
|--|-------|-----------------------|
| Tipologia sezione                                | ARMCO |                       |
| Diametro interno, <b>Di</b>                      | 1000  | [mm]                  |
|  | 1.00  | [m]                   |
| Coefficiente di scabrezza di Strickler <b>ks</b> | 90    | [m <sup>1/3</sup> /s] |
| Pendenza, <b>i</b>                               | 0.50% | [%]                   |

#### Verifica/Progetto

|   |      |                     |
|---|------|---------------------|
| Portata di progetto, <b>Q<sub>p</sub></b>                     | 0.86 | [m <sup>3</sup> /s] |
| Tirante idrico, <b>h</b>                                      | 0.46 | [m]                 |
| <b>α</b>  | 2.98 | [rad]               |
| Area, <b>A</b>  | 0.35 | [m <sup>2</sup> ]   |
| Perimetro bagnato, <b>P</b>                                   | 1.49 | [m]                 |
| Raggio idraulico, <b>R</b>                                    | 0.24 | [m]                 |
| Portata in condizioni di moto uniforme <b>Q<sub>max</sub></b> | 0.86 | [m <sup>3</sup> /s] |
| Velocità  | 2.44 | [m/s]               |
| Grado di riempimento, <b>h/D</b>                              | 0.46 | [-]                 |
| Franco <b>f</b>   | 0.54 | [m]                 |





#### 6.1.4 Attraversamento AT04

##### Caratteristiche della sezione

| Tipologia sezione                                | ARMCO |                       |
|--|-------|-----------------------|
| Diametro interno, <b>Di</b>                      | 1000  | [mm]                  |
|  | 1.00  | [m]                   |
| Coefficiente di scabrezza di Strickler <b>ks</b> | 90    | [m <sup>1/3</sup> /s] |
| Pendenza, <b>i</b>                               | 4.00% | [%]                   |

##### Verifica/Progetto

|   |      |                     |
|---|------|---------------------|
| Portata di progetto, <b>Q<sub>p</sub></b>                     | 4.84 | [m <sup>3</sup> /s] |
| Tirante idrico, <b>h</b>                                      | 0.72 | [m]                 |
| <b>α</b>  | 4.04 | [rad]               |
| Area, <b>A</b>  | 0.60 | [m <sup>2</sup> ]   |
| Perimetro bagnato, <b>P</b>                                   | 2.02 | [m]                 |
| Raggio idraulico, <b>R</b>                                    | 0.30 | [m]                 |
| Portata in condizioni di moto uniforme <b>Q<sub>max</sub></b> | 4.84 | [m <sup>3</sup> /s] |
| Velocità  | 8.04 | [m/s]               |
| Grado di riempimento, <b>h/D</b>                              | 0.72 | [-]                 |
| Franco <b>f</b>   | 0.28 | [m]                 |

