

Applicazione GIS per la programmazione strategica degli interventi su infrastrutture lineari

Cesareo Lorenzo (*), Cesare Legrenzi (*), Giovanni Cucchetti (**),
Caterina Cazzaniga (**), Cristiano Attia (**)

(*) Tethys Srl, v.le Lombardia 11, 20131 Milano, tel.0289079523, fax. 0289079523
cesareo.lorenzo@tethys-geco.it),

(**) Consorzio di Bonifica Est Ticino Villorese, tel. 02 48561 326, fax.0248013031
giovanni.cucchetti@etvilloresi.it

Sintesi

Al fine di programmare in modo ottimale le sempre limitate risorse economiche disponibili per la manutenzione dei canali principali, che servono più di un migliaio di chilometri di rete irrigua sottesa e risultano essenziali per la sussistenza delle importanti realtà socioeconomiche ad essa legate, è stato ideato un metodo di analisi in ambiente GIS che, mettendo in relazione parametri tecnici relativi ai canali con una serie di parametri distribuiti inerenti il territorio circostante, ha permesso di redigere il Piano Strategico dei Navigli, un documento strategico per la pianificazione degli interventi di manutenzione, mirato a garantire la funzionalità presente e futura del sistema dei Navigli milanesi, gestiti dal Consorzio di Bonifica Est Ticino Villorese.

Il risultato dell'applicazione è stato infatti quello di generare una "lista di priorità" di intervento, considerando quattro *macro-parametri*, due dei quali riferiti alla funzionalità e fruibilità dei canali e due all'impatto sul territorio e alla tipologia del tessuto socioeconomico attraversato.

Le priorità così definite ed i costi associati sono stati calcolati per l'intera lunghezza dei Navigli (ca. 270 km di sponde); tale quantificazione ha permesso la definizione di un piano ottimizzato di finanziamento regionale sostenibile per la collettività, pur garantendo la funzionalità ed efficienza del sistema idraulico.

PAROLE CHIAVE: GIS, PIANIFICAZIONE INTERVENTI, OTTIMIZZAZIONE RISORSE, RETICOLO IDRAULICO, LISTA DI PRIORITA', FINANZIAMENTO SOSTENIBILE

Abstract

In order to optimize planning for the main channels maintenance, which serve a downstream irrigation network of more than a thousand kilometers and are essential for the existence of the chief socio-economical entities related to it, with the increasingly limited availability of financial resources, an analysis method in a GIS environment was developed. This has been attained by relating typical technical parameters for channel survey with a series of distributed parameters corresponding to the surrounding area, allowing to prepare a Strategic Plan for the Navigli channels, a strategic document for sustainable maintenance planning, in order to secure the current and future functionality of the channel network in Milan, managed by the Irrigation Consortium Est Ticino Villorese.

The result of the application was to generate a "priority list" of intervention, by means of four macro-parameters, two of which relate to the functionality and usage of the channel network and two related to the surrounding area and socio-economical settings.

The defined priorities and the associated costs were calculated for the entire length of canals (ca. 270 km of shores); this evaluation has allowed the definition of an optimized and sustainable regional financing plan, while ensuring the functionality and efficiency of the hydraulic system.

KEY WORDS: GIS, MAINTENANCE PLANNING, RESOURCES OPTIMIZATION, CHANNEL NETWORK, PRIORITY LIST, SUSTAINABLE FINANCING PLANNING

Schema di lavoro

Al fine di redigere il Piano Strategico dei Navigli, è stato realizzato un Sistema Informativo Territoriale a partire da un rilievo GPS condotto sui 5 Navigli milanesi (caratterizzando più di 270 km di sponde). Tale attività ha consentito la georeferenziazione e l'analisi di informazioni inerenti le caratteristiche aggiornate dei canali, al fine di pianificare gli interventi manutentivi necessari. Lo schema di lavoro per la redazione del Piano ha interessato il SIT in maniera sostanziale; lo schema seguito (Figura 1) è stato il seguente:



Figura 1. Schema di lavoro per il Piano Strategico Navigli.

Banca dati relativa a sponde e manufatti

All'interno del Sistema Informativo Territoriale sono state caricate tutte le informazioni raccolte circa le caratteristiche dei canali (sponde e fondo) e i manufatti presenti. I dati sono stati organizzati in una banca dati sviluppata in ambiente GIS, contenente 896 sezioni topografiche rilevate tramite GPS, le informazioni inerenti le caratteristiche dei canali e dei 572 manufatti (forma e dimensioni della sezione, materiali e caratteristiche delle sponde e del fondo, stato di conservazione).

I dati acquisiti sono stati analizzati statisticamente, per caratterizzare tipologie e criticità inerenti gli elementi rilevati, dopo la verifica puntuale eseguita circa l'effettivo stato di conservazione.

Definizione di urgenza e priorità

Per gerarchizzare i tratti omogenei di canale in una graduatoria efficace, sono stati definiti due fattori: l'*urgenza* e la *priorità*. L'*urgenza* è legata all'esistenza di situazioni di dissesto *già in essere*. La *priorità* è definita invece sulla base dell'analisi spaziale condotta sia su parametri riferiti ai Navigli che al territorio circostante. L'*urgenza*, quindi, definisce l'orizzonte temporale proposto per gli interventi (a breve termine), mentre la *priorità* ne determina un'ulteriore classificazione, permettendo la definizione di scaglioni di investimento sostenibili all'interno della medesima classe di urgenza.

La definizione delle priorità di intervento dovrà permettere di effettuare considerazioni pertinenti il corso d'acqua stesso, così come le relazioni con il tessuto socioeconomico che circonda l'asta idrica, in modo da equilibrare due esigenze differenti: da una parte di migliorare l'efficienza

idraulica ai fini irrigui e di bonifica, di cui sono fruitori soggetti posti spesso diversi chilometri a valle; dall'altra quella della popolazione insistente sulle sponde dei corsi d'acqua, che magari non fruisce direttamente dell'acqua, ma ne gode dal punto di vista edonistico e/o turistico.

L'obiettivo di definire una "lista di priorità" nasce dunque da questa duplice esigenza, avendo come principale scopo quello di raggiungere una quantificazione economica che, attraverso le tipologie di intervento elencate nell'abaco degli interventi, renda possibile il miglioramento dello stato dei Navigli in modo finanziariamente sostenibile.

Selezione dei parametri per la definizione delle priorità - elaborazioni GIS

Sono stati definiti quattro macro-parametri di interesse per l'analisi territoriale volta alla definizione delle priorità di intervento, ai quali è stata assegnato un peso differente, per privilegiare gli aspetti più importanti per la gestione idrica, basandosi sull'esperienza pluridecennale del personale consortile; la sommatoria di tali parametri definisce il valore assoluto di priorità all'interno di una scala variabile tra 0 e 100, come riportato:

M.PAR. IDRAULICO	MAX.50	}	MACRO-PARAMETRI FUNZIONALI
M.PAR. NAVIGAZIONE-TURISMO	MAX.20		
M.PAR. INFRASTRUTTURE	MAX.20	}	MACRO-PARAMETRI TERRITORIALI
M.PAR. DENSITA' ABITATIVA	MAX.10		

La priorità di intervento risulterà direttamente proporzionale al punteggio finale, permettendo di evidenziare i tratti in cui divenga prioritario mettere in sicurezza le sponde.

A-Parametro Idraulico (valore massimo = 50)

Questo macro-parametro è quello che ha il maggiore peso (50%) in relazione alla somma finale che determina il livello di priorità per ogni tratto dal momento che il Sistema Navigli rappresenta una risorsa fondamentale per il territorio milanese e pavese. Il parametro idraulico è costituito da due sotto-parametri:

A1. Portata massima parametrizzata (valore massimo = 20, che rappresenta con valori crescenti da 0 a 20 i valori massimi di portata per ogni tratto di Naviglio; maggiori saranno i danni quanto più la portata risulti elevata, nel caso un cedimento spondale ne comprometta la funzionalità.

In **Errore**. L'origine riferimento non è stata trovata. si mostra la carta risultante; in rosso si vedono le portate maggiori (circa 60 mc/s del Naviglio Grande), man mano decrescenti lungo il tracciato dei canali.

A2. parametro criticità funzionali (valore massimo = 30), che rappresenta per valori incrementali i tratti in cui esistono particolari criticità strutturali che possono compromettere la funzionalità del Sistema Navigli, a cui è stato attribuito il punteggio massimo (pari a 30).

Maggiore sarà il valore assunto da questo parametro, maggiore sarà la criticità del tratto dal punto di vista funzionale (in particolare, canali in rilevato o pensili, principalmente a breve distanza dall'origine). Eventuali cedimenti spondali potrebbero determinare conseguenze più gravi quanto maggiore risulti la rete asservita, potendo occasionalmente rilevanti fenomeni di allagamento diffuso che potrebbero interessare altre attività. I tratti più critici dal punto di vista funzionale appartengano al Naviglio Martesana e al Grande (

Figura); al colore rosso scuro sono associati i valori più alti del parametro (sponda destra del Grande e a quella sinistra del Martesana).

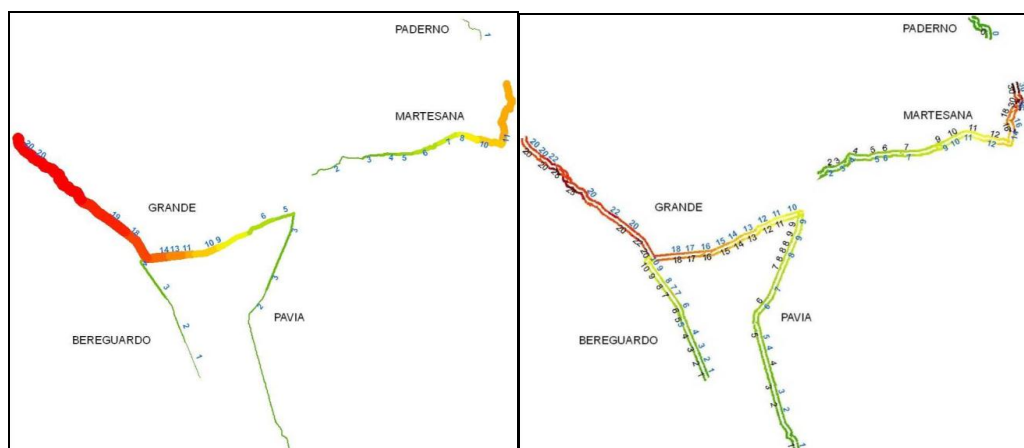


Figura 2. A sinistra: Par. A1 riferito alla distribuzione delle portate lungo i Navigli; con spessori maggiori e colori rossastrati sono indicati i tratti in cui questo parametro assume valore maggiore. A destra: Par. A2 riferito alle criticità funzionali lungo i Navigli; con colori rossastrati sono indicati i tratti in cui questo parametro assume valore maggiore.

B- Parametro Navigazione-Turismo (valore massimo = 20)

Il parametro “B” è stato ricostruito a partire dai risultati dello studio redatto nel 2002 da TEI per conto della Direzione Generale Infrastrutture e Mobilità-U.O. Vie Navigabili, dal titolo: “Analisi e studi per la redazione del programma degli interventi regionali sul demanio delle acque interne con particolare riferimento agli ambiti idroviari minori”.

In particolare, all’interno della relazione generale dello studio si riporta come i parametri di valutazione sono stati determinati in maniera ponderata, attribuendo un peso specifico a ciascun indicatore considerato, vale a dire 0,4 per il parametro tecnico, 0,5 per il parametro turistico e 0,1 per la tipologia di conducente, in base alle attività di analisi e ai sopralluoghi svolti nelle fasi di realizzazione dello studio. L’attribuzione dei pesi assegnati a ciascun indicatore è stata concordata a seguito degli incontri intercorsi fra il gruppo di lavoro TEI e i tecnici dell’U.O. Vie Navigabili.

Il giudizio nautico-turistico è stato determinato dalla combinazione fra i tre parametri e il peso loro assegnato. Nello stralcio della matrice di valutazione (Tabella) sono riportati i valori assegnati:

IDROVIA	CANALE INDUSTRIALE - NAVIGLIO GRANDE			NAVIGLIO PAVESE		NAVIGLIO DI PADERNO
TRATTA funzionale	Diga Panperduto	Turbigo	Abbategrasso	Darsena di Milano	Certosa di Pavia	Naviglio di
omogenea	Turbigo	Abbategrasso	Darsena di Milano	Certosa di Pavia	Pavia (conf. Ticino)	Paderno
	(Canale Industriale)	(Naviglio Grande)	(Naviglio Grande)			
GIUDIZIO						
NAUTICO-TURISTICO	2,0	2,6	2,8	2,5	2,4	2,6
GIUDIZIO tecnico-QUALITATIVO SULLE CONDIZIONI DI NAVIGABILITÀ	INSUFFICIENTE (non navigabile, richiede interventi puntuali per essere funzionale alla navigazione)	BUONO (navigabile con difficoltà)	OTTIMO (navigabile senza particolari difficoltà)	DISCRETO (navigabile con discontinuità)	INSUFFICIENTE (non navigabile, richiede interventi puntuali per essere funzionale alla navigazione)	INSUFFICIENTE (non navigabile, richiede interventi puntuali per essere funzionale alla navigazione)

Tabella 3. Stralcio sintetico della matrice di valutazione per il parametro nautico-turistico.

I valori sopra indicati sono stati normalizzati su una scala da 0 a 20; il massimo numero associato al parametro (20) è stato dunque assegnato al tratto di Naviglio Grande compreso tra Abbiategrasso e Milano, seguito dal resto del tracciato del Grande e dal Paderno, inserito in un contesto di pregio ambientale particolarmente elevato, come si osserva in Figura .

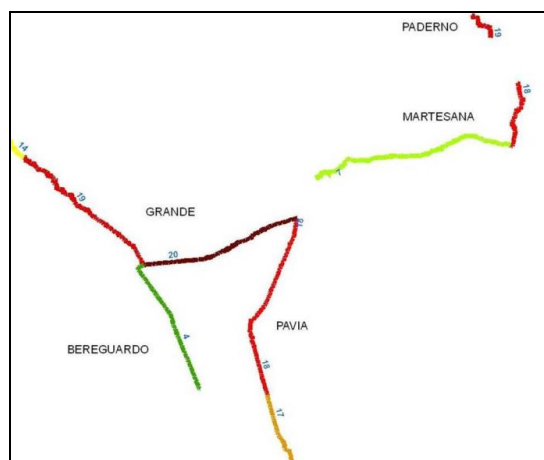


Figura 4. Distribuzione del parametro B, relativo alla navigazione e al turismo; con le colorazioni del rosso i valori più alti, in verde quelli minori.

C - Parametro Infrastrutture (valore massimo = 20)

Se i parametri A e B hanno tenuto conto delle peculiarità, caratteristiche e criticità del sistema idraulico dei Navigli e della loro potenziale fruibilità (nautica e turistica), al contrario i parametri C e D, che pesano complessivamente per un 30% sul totale, sottolineano numericamente l'interazione tra il territorio circostante ai Navigli e gli storici canali.

Pertanto il parametro C, che può assumere al massimo un valore pari a 20 punti, rappresenta in qualche modo quello che nell'analisi di rischio viene chiamato "bersaglio", e cioè un elemento di un dato valore che, sottoposto all'esposizione diretta di un fattore di pericolosità, in questo caso le acque dei Navigli (che possono favorire cedimenti o ammaloramenti spondali), ne possa subire un danneggiamento.

In base alla maggior o minore problematica che le infrastrutture prospicienti possono generare in caso di ammaloramento, è stato assegnato il seguente punteggio:

EDIFICI	PUNT.	20
VIE DI COMUNICAZIONE PRINCIPALE*	PUNT.	15
ALTRE STRADE	PUNT.	10
ALZAIE	PUNT.	10
INFRASTRUTTURE VARIE**	PUNT.	5
NESSUN ELEMENTO DI VALORE	PUNT.	0

*(ferrovie, metropolitane, autostrade, superstrade, strade statali)

** (parcheggi, parchi, giardini, infrastrutture di minore importanza)

E' stato costituito un livello informativo apposito tramite GIS al fine di catalogare tutte le infrastrutture prospicienti le sponde dei Navigli che, in caso di crollo o ammaloramento spondale, possono essere coinvolte in maniera diretta.

La distribuzione che è stata ottenuta, distinta per le due sponde, è rappresentata nell'immagine successiva (Figura); con i colori rosso scuro vengono evidenziati i valori del parametro più alti (pari a 20), associati agli edifici, con i colori sul verde quelli più bassi, relativi a tipologie di infrastrutture minori.

Si nota come, a parte alcuni edifici prospicienti l'alveo dei Navigli ubicati in modo sparso, la maggior parte dei tratti per cui il parametro C assume valori più elevati corrisponda al Naviglio Grande e al Martesana.

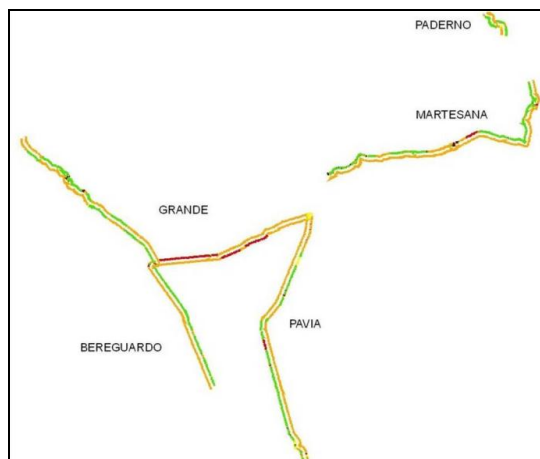


Figura 5. Distribuzione del parametro C, relativo alle infrastrutture prospicienti l'alveo dei Navigli; nelle tonalità del rosso i valori più alti del parametro, in verde quelle minori.

D -Parametro Densità Abitativa (valore massimo pari a 10)

Partendo dall'assunto che ad una maggiore popolazione abitante in vicinanza del canale possano corrispondere maggiori problematiche, si è deciso di mettere in relazione le aree urbanizzate prossime ai Navigli con la popolazione residente, in modo da ricavarne un indice numerico, rappresentativo sia della vicinanza di tale popolazione al cavo, così come della densità abitativa. Tale indice è stato ricostruito tramite *geoprocessing*, a partire dai dati ISTAT relativi all'anno 2009 e dal layer dei confini comunali (fonte: Regione Lombardia). Di seguito si riporta la cartografia relativa al parametro D (

Figura); con i tratti rosso scuro vengono rappresentate i comuni dalle aree urbanizzate a maggiore densità abitativa, mentre col colore verde quelli meno popolati:

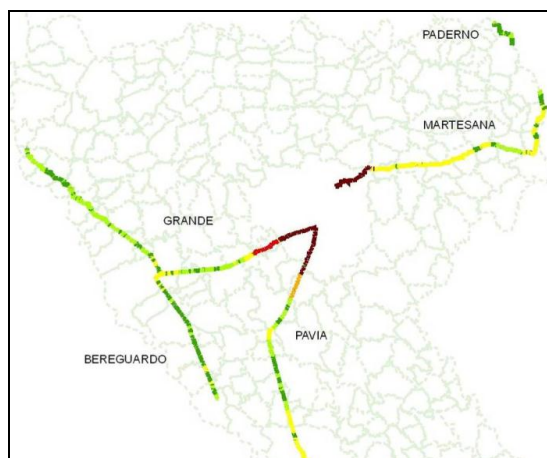


Figura 6. Distribuzione del parametro D, relativo alla densità abitativa delle zone urbanizzate; nei colori rossastri i valori massimi, in quelli verdi quelli minimi.

Analisi e rappresentazione dei risultati

Ogni parametro rappresentato (A, B, C e D) è stato *spazialmente* messo in relazione agli altri ed al tracciato dei Navigli tramite *geoprocessing*, discretizzando il tracciato dei Navigli in base alla

variazione di ogni parametro. Questi ultimi, pur provenendo da informazioni incompatibili tra loro (portata del canale e popolazione, ad esempio), risultano invece confrontabili nel momento in cui la valorizzazione assunta rappresenta un valore di astratto di *rilevanza* che trascende il significato specifico del dato. Pertanto è stato possibile calcolare la sommatoria di tali dati per ogni singolo tratto, stilando una lista di priorità estremamente utile per pianificare un piano di investimento sostenibile che preveda l'utilizzo di fondi nel tempo, considerando criticità e necessità reali. Dallo stralcio della mappa in Figura, ottenuto dalla sommatoria dei 4 macro-parametri, si può osservare come i valori maggiori di priorità (in rosso scuro) siano concentrati fondamentalmente sul Naviglio Grande e Martesana, soprattutto nei tratti iniziali dei canali.



Figura 7. Risultato dell'applicazione GIS: sommatoria dei macro-parametri A, B, C, D per l'ottenimento di un ordine di priorità (tratti prioritari in rosso, tratti a bassa priorità in verde).

Individuazione delle tipologie di intervento

Dall'analisi svolta lungo le aste dei Navigli è emerso come la stabilità delle sponde rappresenti un problema strutturale diffuso e complesso. Il dissesto spondale comporta non solo pericoli per la continuità funzionale del canale, ma anche rischi legati alle infrastrutture direttamente connesse con l'asta (strade alzaie, edifici, linee tecnologiche, ecc.). Le modalità di intervento di consolidamento spondale dipendono dalla tipologia del materiale con cui sono realizzate le sponde; ad esse sono stati associati costi unitari. Gli interventi previsti ai fini dei calcoli finali sono elencati di seguito:

- 1 - ripristino della sponda mediante tecnica scuci-cuci (1B) e realizzazione di fondazione speciale in micropali (1A)
- 2 - ripristino della sponda mediante il riposizionamento dei blocchi (2B) e micropali (2A)
- 3 - ripristino sponda mediante il rifacimento dell'intonaco (3B) e micropali (3A)
- 4A-ripristino della sponda mediante realizzazione di palificata con tecniche di ingegneria naturalistica
- 4B-ripristino della sponda mediante semplice riprofilatura e rimozione della vegetazione

Conclusioni - Il quadro di riferimento programmatico

Sulla base delle priorità definite precedentemente e del prodotto tra costi unitari (per tipologia di intervento) e lunghezza del tratto da ripristinare, è stato redatto il Quadro di Riferimento Programmatico, che riporta per ogni singolo tratto di canale omogeneo e per ogni sponda, l'urgenza, la priorità e il costo per il ripristino completo della sponda. Nel documento di sintesi, per ogni Naviglio e per singolo Comune, è riportata una cartografia riportante i risultati raggiunti, così come una tabella contenente ben 112 dati riferiti alle tipologie di intervento (da abaco) ed alla

priorità di intervento, espressi sia per il sottoinsieme relativo ai tratti da sistemare urgentemente che per l'eventuale sistemazione completa dei Navigli. In Figura la linea centrale rappresenta il tracciato del canale, quelle prossime (per entrambe le sponde) la tipologia di intervento (dall'abaco), quelle più esterne ancora, le priorità, e quelle più esterne in assoluto, i tratti già ammalorati e dunque da sistemare urgentemente.

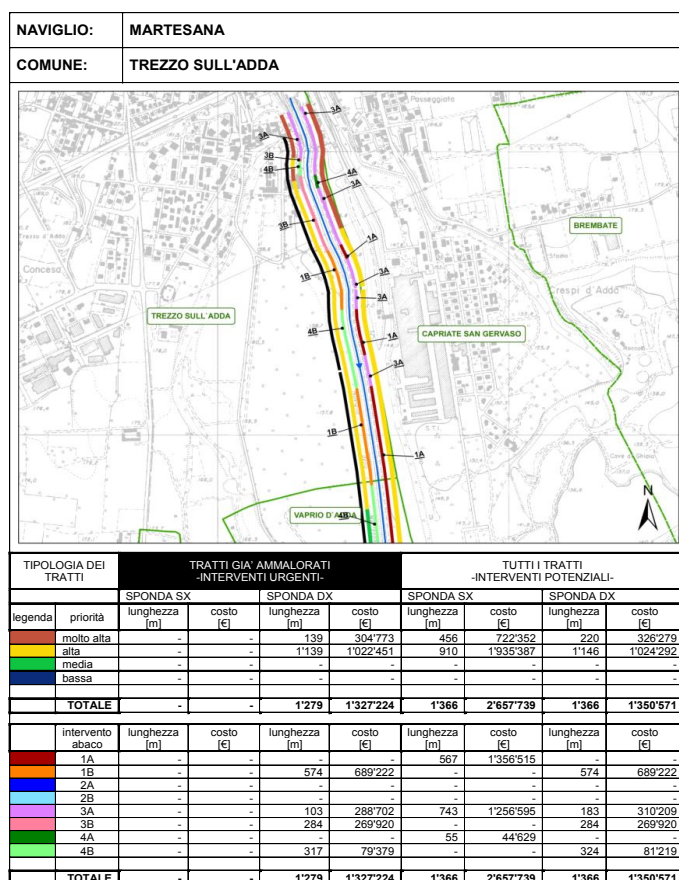


Figura 8. Risultati quantitativi dell'analisi SIT: i risultati sono contenuti nella programmazione degli interventi di consolidamento spondale, facenti parte del Quadro di Riferimento Programmatico per singolo comune, allegato alla presente relazione illustrativa.

I risultati raggiunti hanno permesso di proporre un piano di finanziamento dilazionato nel tempo per ca. 28 milioni di euro che, erogabili secondo disponibilità (e già parzialmente in corso), permettono di risolvere prioritariamente le maggiori criticità esistenti, al fine di garantire l'ottimizzazione delle risorse economiche pur nella salvaguardia della funzionalità idraulica ed irrigua.

Bibliografia

Regione Lombardia (2007-2009), *dati cartografici digitali inerenti i confini comunali e le superfici comunali, la viabilità, le infrastrutture di trasporto, l'uso del suolo (Dusaf)*"; Portale Cartografico; ISTAT (2009), *dati sulla popolazione residente relativi all'anno 2009*; Portale ISTAT
TEI Spa (2002), *Analisi e studi per la redazione del programma degli interventi regionali sul demanio delle acque interne con particolare riferimento agli ambiti idroviari minori*, Master Plan Navigli;
Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi (2009), *reticolo idrico e manufatti in formato digitale*, Cons. di Bonifica Est Ticino Villoresi.