

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI BIOLOGIA

Corso di Laurea Magistrale in Scienze della Natura

Elaborato di Laurea

VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DA DINAMICA
MORFOLOGICA NEI FIUMI TAGLIAMENTO E FELLA
(FRIULI VENEZIA GIULIA)

*Fluvial dynamics and hazard assessment in the Tagliamento and Fella
rivers (Friuli Venezia Giulia, northeastern Italy)*

Relatore: Dr. Nicola Surian
Dipartimento di Geoscienze

Laureando: Marco Palma

ANNO ACCADEMICO 2013/2014

RINGRAZIAMENTI

Ritengo doveroso ringraziare per la realizzazione di quest'elaborato:

Il Dr. Nicola Surian, che mi ha seguito costantemente in tutte le fasi di sviluppo di tirocinio e tesi

Il Dr. Luca Ziliani, la cui abilità nell'utilizzo del software ArcGIS si è rivelata per me di vitale importanza nelle fasi iniziali di raccolta ed elaborazione dei dati

Massimo Zia e la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione centrale infrastrutture, mobilità, pianificazione territoriale e lavori pubblici, Servizio pianificazione territoriale per la fornitura di dati essenziali per le analisi condotte

Il Dr. Lorenzo Marchi e l'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (IRPI) del CNR di Padova per avermi dato la possibilità di consultare dati cartografici in loro possesso

Mia mamma per aver sopportato i miei lunghi silenzi da "lavori in corso" e per avermi fornito i pranzi per le mie uscite sul campo (senza sarei probabilmente morto di stenti)

Mio nonno che mi ha sempre sostenuto e che non vedeva l'ora mi laureassi

Francesca per avermi preparato un sacco di dolci durante lo studio e per la dolce compagnia

Elena, compagna di tesi, per aver condiviso con me quest'esperienza, per avermi fornito un appoggio logistico durante le uscite sul campo e per avermi istruito sulla fauna del Tagliamento

Matteo, amico di una vita, per avermi aiutato oltre l'impossibile nella conversione di coordinate da Gauss-Boaga a UTM-WGS e per aver provato a convincermi ad usare Lyx per la stesura della tesi

I miei amici per i bei momenti passati insieme (cene piccanti a base di ravioli ecc...)

Indice

Riassunto.....	iii
Abstract.....	iv
1. INTRODUZIONE E SCOPI DELLA RICERCA.....	1
2. CONTESTO NORMATIVO.....	3
3. INQUADRAMENTO DEL BACINO DEL FIUME TAGLIAMENTO.....	4
3.1. Inquadramento geografico.....	4
3.2. Inquadramento geologico.....	5
3.3. Evoluzione geomorfologica.....	6
3.4. Il bacino idrografico.....	8
3.5. Regime idrologico.....	9
4. ANALISI DEGLI EVENTI ALLUVIONALI PREGRESSI NEL BACINO DEL TAGLIAMENTO....	10
4.1. Cause della pericolosità idrogeologica nel bacino del fiume Tagliamento.....	10
4.2. Gli eventi alluvionali nella storia.....	11
4.3. Le alluvioni del 1965 e del 1966.....	12
4.4. L'evento alluvionale dell'agosto 2003 nel bacino del Fella.....	13
5. INDICE DI DINAMICA MORFOLOGICA E CLASSIFICAZIONE DI DINAMICA DA EVENTO	15
6. MATERIALI E METODI.....	23
6.1. Dati utilizzati.....	23
6.2. Metodologia.....	24
6.2.1. Inquadramento generale del bacino idrografico e suddivisione dei corsi d'acqua in tratti omogenei.....	24
6.2.2. Valutazione di IDM e CDE.....	30

7. RISULTATI	37
7.1. Determinazione delle unità fisiografiche e suddivisione in tratti del corso d'acqua.....	37
7.2 Applicazione dell'IDM e della CDE	39
8. DISCUSSIONE	72
8.1. Considerazioni sui risultati ottenuti	72
8.2. Problematiche riscontrate nell'applicazione dell'IDM e CDE	77
8.3. Confronto con la zonazione del PAI	80
9. CONCLUSIONI	83
Appendic	85
Bibliografia	89

Riassunto

Lo studio condotto nasce dalla necessità di indagare e monitorare i corsi d'acqua al fine di gestire e mitigare le dinamiche fluviali e prevenire gli effetti degli eventi alluvionali. L'elaborato si propone di testare due strumenti d'indagine e classificazione, l'Indice di Dinamica Morfologica (IDM) e la Classificazione di Dinamica da Evento (CDE), recentemente sviluppati nell'ambito della metodologia IDRAIM (Rinaldi *et al.*, 2013). Un ulteriore scopo è quello di valutare l'integrabilità di tali indici morfologici con le valutazioni idrauliche di pericolosità comunemente utilizzate. Gli indici, applicati facendo uso di tecniche GIS, telerilevamento e rilievi geomorfologici lungo 20 tratti dei fiumi Tagliamento e Fella (Friuli Venezia Giulia), sono costruiti su una serie di indicatori che valutano i processi (es. erosione di sponda) e le caratteristiche principali del corso d'acqua (es. tipologia di trasporto solido), la presenza di opere di difesa, le variazioni morfologiche e la probabilità di occlusioni lungo l'alveo. Le scale temporali indagate sono relative agli ultimi 10-15 anni e agli ultimi 60 anni per l'IDM, mentre per la CDE si fa riferimento ad eventi alluvionali estremi. I risultati ottenuti hanno consentito di determinare classi di dinamica morfologica media ed elevata (con un solo tratto caratterizzato da dinamica bassa) per l'IDM e elevata e molto elevata per la CDE. Valori di IDM elevato si riscontrano prevalentemente per i tratti lungo il medio Tagliamento, mentre la CDE molto elevata è presente nei tratti alpini. La ridotta gamma di classi ottenute dipende prevalentemente dai risultati relativi agli indicatori circa l'erosibilità del fondo dell'alveo, che hanno omogeneizzato le classi risultanti obliterando le differenze di dinamica morfologica tra differenti segmenti fisiografici. D'altra parte, i risultati ottenuti sono complessivamente congruenti con quanto atteso per questi due corsi d'acqua, caratterizzati in molti tratti da elevata energia, morfologie a canali intrecciati e elevato trasporto solido al fondo. Il confronto dei risultati conseguiti con la cartografia del PAI (Piano per l'Assetto Idrogeologico) ha denotato una sostanziale concordanza nella valutazione della pericolosità lungo i tratti studiati, con due soli casi caratterizzati da elevate IDM e CDE e bassa pericolosità idraulica. Queste situazioni evidenziano la necessità di integrare valutazioni idrauliche con un approccio geomorfologico finalizzato alla definizione della pericolosità da dinamica d'alveo.

Abstract

The study originates from the need to investigate and monitor rivers in order to manage and mitigate fluvial dynamics and prevent flood adverse effects. This research tests two survey and classification tools, the Morphological Dynamics Index (MDI) and the Event's Dynamics Classification (EDC), recently developed in the IDRAIM methodology (Rinaldi *et al.*, 2013). A further purpose is to assess the morphologic indexes integrability with the hydraulic hazard estimations commonly used. The indexes, which are applied by using GIS-remote sensing analysis and field geomorphologic surveys on 20 reaches belonging to the Tagliamento and Fella rivers (Friuli Venezia Giulia, northeastern Italy), are based on indicators examining rivers processes (e.g. bank erosion) and primary attributes (e.g. type of sediment transport), protection works, morphological variations and channel obstruction probability. The enquired temporal scales are about the last 10-15 years and the last 60 years for the MDI, whereas the EDC refers to extreme flood events. The results obtained allowed to define medium and high morphological dynamic classes (with a single reach hallmarked by low dynamics) for the MDI and high and very high for the EDC. High values for the MDI are located especially on the medium Tagliamento reaches, whereas a very high EDC is localized on the alpine reaches. The limited range of values obtained depends mainly on bed erosion indicators, which homogenized the resulting classes smoothing the morphologic dynamic differences among different landscape segments. On the other hand, overall the results obtained are in accordance with the expectations for these two rivers, which are characterized on many reaches by high energy, braided morphology and high bed-load transport rates. A comparison of the obtained results and the PAI mapping (i.e. maps of flood-prone areas) denoted a substantial similarity in the hazard evaluation on the studied reaches, with only two cases hallmarked by high MDI and EDC and low hydraulic hazard. These situations put evidence on the need of integrating hydraulic studies with a geomorphologic approach aimed at defining morphological dynamic hazard.

1. INTRODUZIONE E SCOPI DELLA RICERCA

Da sempre le comunità umane che sorgono in prossimità dei corsi d'acqua si trovano a dover gestire situazioni ambientali molto precarie e gravi calamità naturali cause, nel lontano e nel recente passato, di ingenti danni e perdite di vite umane. Questo ha portato l'uomo a difendere il territorio tramite un'attiva strategia di prevenzione, che ha portato, nel corso dei secoli e, soprattutto, negli ultimi 60 anni, a una intensa manipolazione dei corsi d'acqua e a un loro monitoraggio e studio volto a far sì che gli eventi alluvionali, ed in particolare quelli più estremi possano essere gestiti e mitigati (Rusconi, 2002). Quest'elaborato ha lo scopo di restituire un ordine di grandezza, tramite un'analisi di carattere geomorfologico, circa la pericolosità da dinamica d'alveo nel bacino del fiume Tagliamento, il più esteso fiume del Friuli-Venezia Giulia, che rappresenta un contesto di studio ideale per l'ingente copertura di dati, raramente riscontrabile per gli altri fiumi italiani, per il limitato impatto antropico subito dal fiume, che ha preservato condizioni di seminaturalità (Ward *et al.*, 1999) e per la ricca storia di eventi alluvionali, a dimostrazione della peculiare fragilità idrogeologica del bacino. Tale fiume è stato ed è tuttora inoltre oggetto di numerosi studi (Bertoldi *et al.*, 2011; Surian *et al.*, 2009; Ward *et al.*, 1999), il che rende possibile l'inserimento di questo lavoro in un più ampio progetto di studio e monitoraggio permettendo in diverse situazioni comparazioni dei dati raccolti ed elaborati con altri già sviluppati e pubblicati.

La pericolosità da dinamica d'alveo è stata analizzata tramite l'utilizzo di due metodologie che vanno ad investigare la dinamica morfologica e l'esondazione indotta, ossia l'IDM (Indice da Dinamica Morfologica) e la CDE (Classificazione di Dinamica da Evento), differenti tra loro per struttura e per scale spazio-temporali analizzate. Questi due metodi si inseriscono nella metodologia IDRAIM di valutazione e monitoraggio morfologico che rappresenta il quadro metodologico complessivo di analisi, valutazione post-monitoraggio e di definizione delle misure di mitigazione degli impatti ai fini della pianificazione integrata prevista dalle Direttive 2000/60/CE e 2007/60/CE (Rinaldi *et al.*, 2013 in preparazione). IDM e CDE, di recentissima realizzazione e, fino a questo momento, testati in un numero molto limitato di corsi d'acqua, vengono qui applicati al fine di verificarne l'efficacia ed eventuali limiti. Un secondo obiettivo di questo lavoro è verificare come un'analisi di tipo geomorfologico, come quella qui realizzata, possa

integrarsi con un'analisi di tipo idraulico, tipicamente impiegata nella valutazione della pericolosità e del rischio idrogeologico.

2. CONTESTO NORMATIVO

Come già accennato, gli indici trattati in quest'elaborato fanno riferimento alla metodologia IDRAIM di valutazione idromorfologica, di analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua rappresentante un quadro metodologico per la pianificazione integrata prevista dalla "direttiva quadro in materia di acque" 2000/60/CE e dalla "direttiva alluvioni" 2007/60/CE (Bussetтини *et al.*, 2013). La prima di queste direttive ha come finalità la promozione di una politica sostenibile a lungo termine per l'utilizzo e la protezione delle acque interne, di transizione e marino-costiere, e tratta l'utilizzo umano dei corsi d'acqua e la loro protezione dal deterioramento fisico, chimico, idromorfologico e ecologico. Questa direttiva ha posto le basi, in ambito geomorfologico, per la nascita dell'indice di qualità morfologica (IQM), che si è affermato quale mezzo di investigazione dello stato geomorfologico dei corsi d'acqua in ambito nazionale (Bussetтини *et al.*, 2013). La gestione della pericolosità dei corsi d'acqua è trattata nella seconda direttiva menzionata, relativa alla gestione e valutazione dei rischi di alluvioni, che va a integrare e coordinarsi con la 2000/60/CE (articolo 9), definendo i criteri di realizzazione di valutazioni preliminari circa il rischio di alluvione e relative mappe di pericolosità e rischio (articoli 4, 5, 6). In particolare, l'articolo 4 comma d delinea la necessità di effettuare valutazioni tenendo conto di determinati fattori quali topografia, posizione del corso d'acqua, caratteristiche idrologiche e geomorfologiche generali. A livello nazionale tale direttiva è stata recepita per mezzo del Decreto Legislativo del 23 febbraio 2010 n. 49 (Gazzetta Ufficiale del 2 aprile 2010, n. 77). A questa e alle direttive sopra citate fa riferimento il manuale IDRAIM, frutto della collaborazione tra l'Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale (ISPRA) e tre Università (Firenze, Padova e Bolzano). Tale manuale sviluppa metodologie d'analisi morfologica per i corsi d'acqua conformemente a quanto richiesto dalle direttive europee, promuovendo un'analisi sulla qualità morfologica dei corsi d'acqua, attraverso l'Indice di Qualità Morfologica (IQM) e incentrata invece sulla pericolosità idromorfologica con l'Indice di Dinamica Morfologica (IDM), la Classificazione di Dinamica da Evento (CDE) e la definizione delle Fasce di Dinamica Morfologica (FDM) (Rinaldi *et al.*, 2013 in preparazione).

3. INQUADRAMENTO DEL BACINO DEL FIUME TAGLIAMENTO

3.1. Inquadramento geografico

Con i suoi 178 km di lunghezza il Tagliamento è il fiume più lungo della regione Friuli-Venezia Giulia. L'asta fluviale è idealmente suddivisibile in tre differenti domini (Ziliani, 2011): il dominio montano, o dell'alto Tagliamento, nel quale rientrano Fella e Tagliamento fino alla

chiusa di Pinzano e che conta le affluenze dei torrenti Lumiei, Degano e But per il Tagliamento e Pontebbana, Dogna, Raccolana, Resia ed Aupa per il fiume Fella; il dominio di alta pianura (medio Tagliamento) che si sviluppa fino circa a Latisana e che vede l'affluenza del torrente Cosa in

destra idrografica a valle di Spilimbergo; uno di bassa pianura (basso Tagliamento),

comprendente il tratto di fiume che giunge alla foce. Il Tagliamento ha origine a quota 1995 m presso passo Mauria (1298 m slm), al confine tra Friuli e Veneto, e da qui, sviluppandosi da ovest verso est, attraversa i rilievi calcareo-dolomitici della Carnia occidentale passando per i comuni di Forni di Sopra, Forni di Sotto, Socchieve, Villa Santina e Tolmezzo, giungendo presso Amaro alla confluenza col suo maggior tributario, il fiume Fella. Questo nasce nella parte nordorientale della regione in prossimità di Tarvisio (a pochi chilometri dalla frontiera austriaca), e, con una lunghezza complessiva

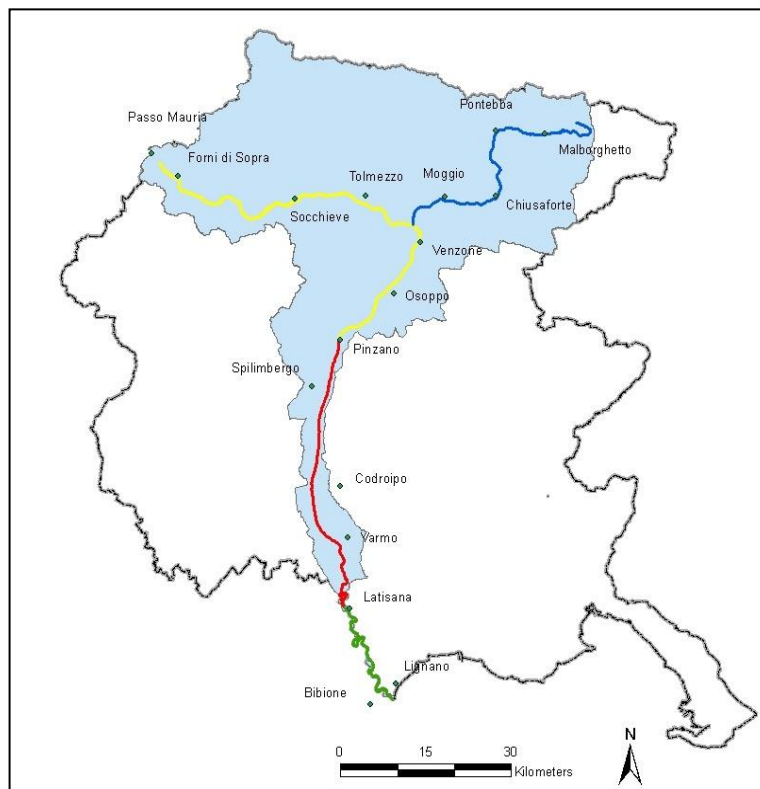


Fig. 1: inquadramento geografico dei fiumi Tagliamento e Fella; in giallo l'alto Tagliamento, in rosso il medio Tagliamento, In verde il basso Tagliamento, in azzurro il Fella. L'area azzurra identifica il bacino del Tagliamento, in grigio i confini del Friuli Venezia Giulia

di 54 km, si dipana verso est attraverso i comuni di Malborghetto e Pontebba per poi curvare bruscamente verso sud attraversando Pietratagliata e riprendere quindi l'originale direttrice ovest-est che lo porta a confluire col Tagliamento dopo aver attraversato i comuni di Chiusaforte e Moggio Udinese. Da qui il Tagliamento cambia direzione procedendo verso sud-sud-ovest e, bagnando i comuni di Venzone e Osoppo, giunge ai piedi del monte di Ragogna da dove, attraversando la stretta di Pinzano, entra in pianura. Da qui il fiume si dirige verso sud scorrendo in un ampio alveo a canali intrecciati che presso San Paolo inizia ad evolvere verso morfologie monocursali caratteristiche della bassa pianura (Surian *et al.*, 2009). Il basso corso, seguendo un tipico percorso a meandri, prosegue fino alla foce che si sviluppa sulle coste del nord Adriatico in un ampio delta simmetrico bicuspidato che separa Bibione (in destra idrografica) da Lignano (in sinistra). Nel complesso, il bacino del Tagliamento occupa un'area di 2.916 km², con estensione est-ovest di circa 80 km e nord-sud di circa 100 km. Dal punto di vista amministrativo il bacino rientra quasi completamente entro i limiti della regione Friuli-Venezia Giulia, dalla quale restano escluse le zone golenali della componente di bacino di bassa pianura in destra idrografica, facenti parte del Veneto (provincia di Venezia), e le aree di bacino prospicienti passo Mauria, facenti parte della provincia di Belluno.

3.2. Inquadramento geologico

Il bacino montano del Tagliamento occupa un'area caratterizzata prevalentemente da un substrato roccioso sedimentario e, in minor parte, metamorfico, la cui storia si protrae fin dal Paleozoico (da circa 450 Ma). Le rocce del bacino del Tagliamento hanno di fatto registrato due cicli orogenici: quello ercinico nel Paleozoico (tra 500 e 280 Ma), provocato dalle dinamiche compressive derivate dalla costituzione del supercontinente Pangea, e quello alpino nel Mesozoico/Cenozoico (da circa 270 Ma a oggi), derivato dallo scontro tra microplacca adriatica (parte della placca africana) e placca eurasiatica, la cui collisione ha provocato la chiusura dell'oceano tetideo e il sollevamento delle rocce costituite a partire dal Permiano superiore (Bosellini, 1989).

Dal punto di vista litologico dunque il bacino può suddividersi in tre principali macrofasce ciascuna con sviluppo est-ovest (Monegato e Stefani, 2010), così organizzate da nord a sud:

- settore Ordoviciano - Permiano (460 - 310 Ma): unità paleozoiche sedimentarie e vulcaniche in parte metamorfosate che costituiscono quello che rimane dell'antica catena Paleocarnica (fig. 2) originatasi dalla collisione tra microplacca carnico-dinarica e placca turco-iraniana durante l'orogenesi ercinica. Questa catena rappresenta un'emergenza geologica di grande rilevanza a livello italiano e mondiale per la sua ricchezza fossilifera e per la comprensione delle dinamiche orogeniche alpine (Zanferrari, 2006).
- settore Permiano - Triassico medio (310 - 228 Ma): costituito prevalentemente da dolomie e rocce vulcaniche.
- settore Triassico inferiore - Cenozoico (228 Ma- oggi): in questa restante parte del bacino del Tagliamento affiorano rocce la cui storia geologica appartiene solo al ciclo alpino, durante il quale è avvenuta la formazione del reticolo attuale nelle sue linee principali in seguito alla crisi di salinità del Messiniano (5.96 Ma).

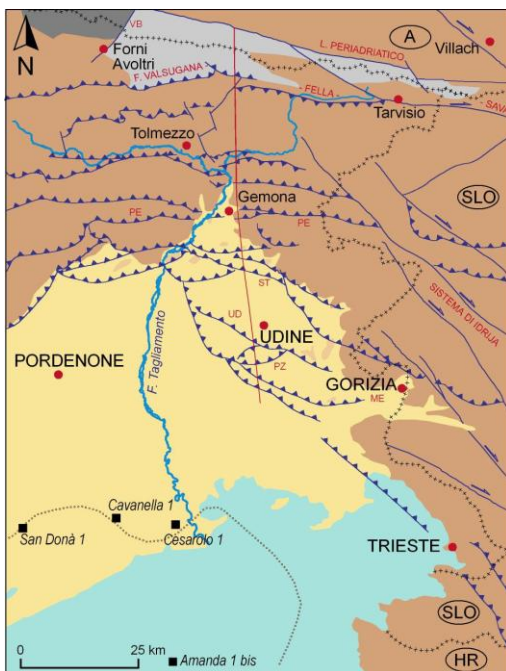


Fig. 2: schema tettonico del settore friulano della catena sudalpina orientale con i principali sovrascorrimenti (in blu); i rami con direzione est-ovest di Tagliamento e Fella si impostano lungo linee di debolezza tettonica. In grigio chiaro la catena Paleocarnica; tratto da Zanferrari, 2006)

3.3. Evoluzione geomorfologica

Il sollevamento alpino ha portato le rocce generate fin dal tardo Paleozoico a emergere e a divenire dunque preda dei principali fattori di modellamento della crosta agenti in ambiente subaereo. Un ruolo fondamentale nel plasmare i neonati rilievi alpini lo giocano la tettonica, l'erosione fluviale e quella glaciale. Si individua nel Messiniano un'importante fase di incisione del reticolo idrografico alpino, causato dalla diminuzione

del livello marino locale dovuto all'occlusione temporanea dello stretto di Gibilterra e di conseguenza all'accentuata evaporazione nel bacino del Mediterraneo, non più rifornito dalle acque del vicino Oceano Atlantico (Cita, 1982; Cita, Corselli, 1990). Questa fase, protrattasi da 5,96 Ma a 5,60 Ma, ha consentito quindi al reticolo idrografico alpino, Tagliamento compreso, di imprimersi fortemente, tanto che oggi esso mantiene con una certa approssimazione la stessa posizione di allora. Si può osservare ancor oggi la geografia delle valli nel bacino, preferenzialmente estese in direzione nord-sud o est-ovest, chiare tendenze dei corsi d'acqua a svilupparsi lungo direzioni di massima pendenza, ossia dalla cerniera assiale della catena alpina (maggiormente elevata) al mare, e lungo linee di debolezza tettonica come la "faglia Valsugana-Fella-Sava" sulla quale si imposta il fiume Fella (Meneghel, 2006) (fig. 2). La trasgressione pliocenica porta circa 3,8-3,5 Ma la foce del paleo-Tagliamento nell'area oggi occupata dalle colline di Osoppo, dove ritroviamo conglomerati di quell'epoca (Venturini, 1991); da questo momento in poi, l'avanzata della sedimentazione grossolana del paleo-Tagliamento porterà a una progressiva regressione del limite costiero e all'edificazione della pianura friulana. Qui, contrariamente rispetto al corso montano del fiume che non ha subito eccessive variazioni in 5 milioni di anni, il deflusso delle acque e il trasporto di sedimenti hanno consentito la formazione di megaconoidi (megafan) (fig. 3) nei periodi caratterizzati da elevata portata solida nel corso d'acqua, con apice allo sbocco vallivo, sui quali il fiume divagava ampiamente (Fontana *et al.*, 2008).

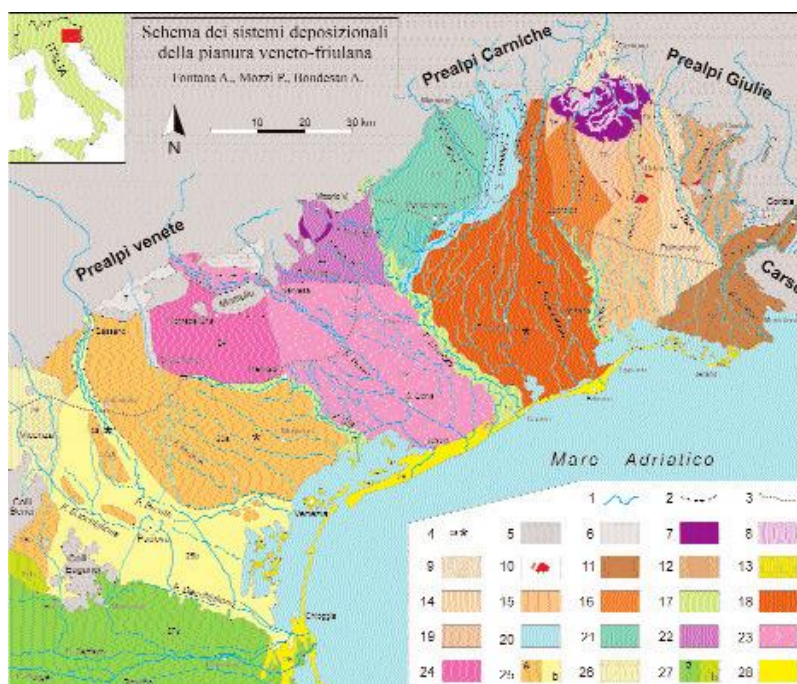


Fig. 3: sistemi deposizionali della pianura veneto-friulana. In arancione il megafan del fiume Tagliamento, che ha apice alla stretta di Pinzano e si sviluppa fino alla foce nell'Adriatico; tratto da (Bondesan *et al.*, 2004)

Altro ruolo fondamentale nel modellamento del bacino l'hanno giocato nel Pleistocene le glaciazioni che ripetutamente hanno interessato la regione: durante l'LGM (Last Glacial Maximum, tra 25000 e 16000 anni fa) il ghiacciaio del Tagliamento si affacciava sulla pianura con una lingua di notevoli dimensioni, testimoniata oggi dall'anfiteatro morenico tilaventino (Monegato *et al.*, 2007). I ghiacciai con la loro azione erosiva hanno giocato un ruolo fondamentale nell'ampliamento dei fondovalle, per i quali oggi osserviamo una tipica conformazione ad U. Con il ritiro dei ghiacciai pleistocenici e il generale miglioramento delle condizioni climatiche, nel corso dell'Olocene il corso del Tagliamento, soprattutto nell'alta pianura, è andato incontro a una fase di incisione dovuta alla generale diminuzione del trasporto solido (Fontana *et al.*, 2004) legato a sua volta al rimboschimento dei versanti liberati dalla presenza dei ghiacci (Descroix and Gautier, 2002). A questa genesi sono attribuibili gli elevati terrazzi che costeggiano per una ventina di chilometri il corso del fiume che sbocca dalla stretta di Pinzano. Quest'incisione ha consentito la disattivazione dell'alta pianura, non più inondabile dal fiume, mentre continuano invece ancor oggi le inondazioni nella parte bassa della pianura, nella quale, da Arzene e Ravis (punti di terminazione dei terrazzi pleistocenici) si dipartono nuovi conoidi (megafan telescopici) formati da più lobi, con apice incastonato nei sedimenti del conoide più antico (Fontana *et al.*, 2004). Nella bassa pianura, dunque, il Tagliamento ha avuto possibilità di divagare depositando i suoi sedimenti e cambiando la sede del suo corso fino a tempi molto recenti, in cui l'intervento dell'uomo lo ha confinato all'interno di arginature che tuttavia ancora riesce a violare in seguito ad eventi alluvionali intensi (Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico, 1998).

3.4. Il bacino idrografico

Il bacino del fiume Tagliamento rappresenta una delle regioni più piovose d'Italia, con piovosità media (registrata negli ultimi cinquant'anni da 14 stazioni nel bacino montano) pari a 1830 mm/anno (Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico, 1998), valore decisamente di molto superiore alla piovosità media del nostro paese stimata in 1000 mm/anno. Il massimo di precipitazioni si ha sui rilievi alpini orientali, ove si possono raggiungere anche valori di 3500 mm/anno, mentre si riduce spostandosi verso il settore alpino nordoccidentale, con valori tra i 1500 e i 2200 mm/anno, come pure verso la pianura, dove i valori sono generalmente compresi tra 1000 e 1500 mm/anno (Autorità

di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico, 1998). Nel bacino il regime pluviometrico mostra un andamento stagionale con un picco di precipitazioni nei mesi di ottobre e novembre e un massimo relativo tardo-primaverile: i massimi pluviometrici mensili in questi periodi possono arrivare a 250-350 mm, con picchi di 400 mm nella fascia prealpina orientale (Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico, 1998). Le precipitazioni ritenute in grado di innescare fenomeni di dissesto idrogeologico sono quelle brevi (1-6 ore) a elevata intensità (oltre 40-45 mm/ora) e quelle continue (24-48 ore) che interessano un'estesa superficie all'interno del bacino (Paronuzzi, 2006). Nel corso del XX secolo si è assistito ad una tendenza alla diminuzione progressiva delle precipitazioni medie annue e ad un aumento degli eventi idrologici estremi: i valori di piovosità annui rilevati presso la stazione pluviometrica di Udine sono passati dai 1700 mm/anno di inizio '800 agli attuali 1400 mm/anno, in seguito probabilmente alla fine intorno a metà '800 della Piccola Era Glaciale che ha però protratto i suoi effetti climatici ed idrologici fino a inizio '900 (Grove, 1988; Schmockler-Fackel e Naef, 2010; Paronuzzi, 2006).

3.5. Regime idrologico

Il regime idrologico del Tagliamento può definirsi di tipo torrentizio per il forte divario tra i flussi di piena e di magra che può raggiungere anche due ordini di grandezza, passando da valori di 10-40 m³/s a picchi che superano i 3,000 - 4,000 m³/s (Maione e Machne, 1982). L'andamento dei deflussi ricalca fedelmente il regime pluviometrico: portate maggiori si hanno in autunno e tarda primavera, mentre il periodo di magra contraddistingue la stagione estiva e soprattutto quella invernale, caratterizzata da precipitazioni prevalentemente nevose. Alla stazione idrometrica di Pioverno, nel periodo 1932 - 1973 è stato valutato un valore medio di portata pari a circa 81 m³/s, un minimo storico di 15 m³/s e un massimo stimato per l'evento del novembre 1966 pari a 4050 m³/s (Surian *et al.*, 2009a). I dati più recenti indicano una portata media di 68,8 m³/s: tale diminuzione della portata dipende dalla progressiva riduzione della piovosità sul bacino e dal prelievo idrico lungo il fiume (Paronuzzi, 2006).

4. ANALISI DEGLI EVENTI ALLUVIONALI PREGRESSI NEL BACINO DEL TAGLIAMENTO

4.1. Cause della pericolosità idrogeologica nel bacino del fiume Tagliamento

Il bacino del fiume Tagliamento è, come già detto, soggetto a un'intensa dinamica geomorfologica, che si manifesta durante gli eventi alluvionali coinvolgendo aree più o meno estese e danneggiando direttamente o indirettamente le comunità residenti. Ad influenzare le portate di Tagliamento e Fella e a minare la stabilità dei versanti sono principalmente le precipitazioni prolungate, gli eventi idrologici brevi ed intensi e gli eventi sismici (Paronuzzi, 2006). Questa generale attività dei processi geomorfologici è da attribuirsi, in primis, a geologia e geomorfologia del bacino, costituito spesso da litotipi strutturalmente deboli per giacitura e composizione e da valli strette contraddistinte da versanti instabili per la loro pendenza, che può arrivare ai 70-90 gradi. Ben si prestano a fenomeni di distacco e scivolamento di grandi dimensioni aree ove l'assetto generale degli strati è a franapoggio e dove la struttura delle rocce si presenta stratificata, con intercalazioni poco coerenti e fratture verticali che consentono lo svincolo laterale del corpo roccioso già in equilibrio precario (Paronuzzi, 2006). Un esempio di questo genere è rappresentato dalla frana che seppellì il paese di Borta, in prossimità di Socchieve, nell'agosto del 1692, quando 80-100 milioni di metri cubi di roccia si distaccarono dal versante provocando la morte di 52 persone; la frana, il cui accumulo è ancor oggi identificabile lungo il corso del Tagliamento, coinvolse dolomie scure laminate con giacitura a franapoggio, per le quali il distacco avvenne lungo la giuntura tra strati (Cavallin, Martinis, 1974). Altro fattore associato alla pericolosità idrogeologica nel bacino è rappresentato dalle piogge intense o persistenti che coinvolgono la superficie del bacino (Borga *et al.*, 2007) che, associate alle ridotte dimensioni dei bacini minori del Tagliamento e a valli con pendenze elevate causano aumenti di portata repentini, generando molto spesso episodi alluvionali. Per concludere, altro fattore che influisce sul ripetersi di queste calamità è l'elevata sismicità cui è soggetta la regione. I terremoti destabilizzano e fratturano le rocce costituenti i versanti, aggravandone la situazione geostatica (Govi, Sorzana, 1977), basti pensare che nel 1976, anno segnato dai due importanti sismi del 6 maggio e 15 settembre di magnitudo rispettivamente 6.4 e 6.1 della scala Richter, si sono verificate centinaia di

crolli di roccia, soprattutto lungo i versanti rocciosi compresi tra Tolmezzo, la valle del Fella e la valle del torrente Torre (Querini, 1977).

4.2. Gli eventi alluvionali nella storia

Le calamità derivate dalla pericolosità idrogeologica dei fiumi sono sempre state, nel corso della storia, oggetto di menzione e cronaca; questo ci permette di ricostruire e comprendere scenari di cui non possiamo avere memoria data la loro rarità e classificare gli eventi a seconda della loro intensità, proporzionale alla frequenza con la quale si succedono nel corso della storia (i cosiddetti tempi di ritorno di un evento). Si possono dunque identificare eventi con tempi di ritorno molto bassi (ad esempio 1 o 2 anni) caratterizzati da una magnitudo relativamente bassa, fino ad arrivare ad eventi estremi con tempi di ritorno molto lunghi quali 500-1000 anni, come sembra possa essere per il "diluvio" del 589 d.c. citato da Paolo Diacono nella sua *Historia Langobardorum* (Diacono, 1972). Documentazione storica significativa per l'analisi delle piene del fiume è reperibile a partire dal XIII secolo e, in particolare, per gli ultimi 600 anni, che vedono la registrazione di 59 eventi restituendo un periodo medio di tracimazione nel bacino del Tagliamento di 10 anni, alcuni dei quali tanto catastrofici per i paesi rivieraschi da causarne una migrazione di sponda (è l'esempio di San Paolo, paese localizzato nella bassa pianura del Tagliamento che nel 1596 si ritrovò, in seguito ad un'avulsione di un tratto del fiume, prima circondato su un'isola fluviale dalle acque del nuovo e vecchio corso e, col disattivarsi di questo, sulla sponda opposta rispetto a quella dell'originaria ubicazione) (Castellarin, 1990) o la distruzione completa (è il caso di Borta, paese presso Socchieve sepolto dalla già citata frana del 1692) (Cavallin, Martinis, 1974). Gli eventi si concentrano nella stagione primaverile ed autunnale (Paronuzzi, 2006), mentre una minor percentuale d'eventi è da attribuirsi ai fenomeni meteorologici estivi ed in particolare alle precipitazioni brevi con intensità maggiore di 45-50 mm/ora che causano il verificarsi di eventi franosi e l'attivazione di colate detritiche che vanno ad interagire con i corsi d'acqua (Paronuzzi, 1998). Durante il XX secolo, caratterizzato da maggior disponibilità di fonti anche per alluvioni di modeste entità, si contano 43 episodi calamitosi di variabile intensità, il che indica una situazione di dissesto idrogeologico di moderata intensità ogni 2-3 anni. Tra gli eventi noverati tra 1900 ed oggi spiccano per veemenza le due alluvioni ravvicinate del 1965 e 1966, che causarono nel complesso la

morte di 15 persone e, nel recente, l'evento del 29 agosto 2003, che colpì duramente la val Canale e il bacino del Fella.

4.3. Le alluvioni del 1965 e del 1966

L'evento alluvionale verificatosi il 2 settembre 1965 in seguito a un prolungato periodo di piogge intense causò disagi diffusi nel bacino; lungo il tratto montano del Tagliamento i danni maggiori furono procurati nel tratto vallivo tra Socchieve e Amaro con il crollo del ponte tra Socchieve e Preone e l'allagamento di molte zone golenali comprese le aree di Invillino, Tolmezzo e Amaro, mentre in bassa pianura le acque invasero porzioni di pianura causando morti e ingenti danni alle abitazioni (Castellarin, 1990). Le aree colpite nel '65 furono nuovamente interessate l'anno successivo da un nuovo e ancor più intenso evento alluvionale causato da precipitazioni intense e prolungate nel bacino montano: agli allagamenti si sommarono gli effetti delle diffuse frane che isolarono numerosi paesi, molti dei quali colpiti dall'irruenza delle acque che travolsero manufatti di attraversamento, erosero sponde e opere di protezione idraulica, alterarono le condizioni al fondo degli alvei con eventi di sedimentazione ed incisione eccezionali (Stefanini, 1979). Tra gli innumerevoli comuni colpiti si possono citare Forni di Sopra, Priuso, Socchieve, Enemonzo, Tolmezzo, Invillino e, non ultimo, Venzone, dove nella piazza centrale le acque raggiunsero un livello massimo di 1,5 m (Stefanini, 1979). Le acque, attraversando l'alta pianura e incanalandosi nello stretto alveo prossimo a Latisana, si innalzarono rapidamente provocando 4 rotte principali, a nord-est di Saletto, a Madrisio, Latisanotta e Latisana, allagando un'area superiore ai 22.000 ettari con acque che a Latisana nei punti più depressi raggiunsero i 4 m d'altezza (Stefanini, 1979) (figg. 4,5). Fortunatamente l'evento, il cui tempo di ritorno è stato stimato nell'ordine del centinaio di anni (Ramponi, 1974), fu previsto con un anticipo sufficiente a consentire l'evacuazione dei maggiori centri abitati.



Figg. 4: effetti dell'alluvione del fiume Tagliamento del 1966 a Latisana



Fig. 5: l'acqua defluisce lungo le vie del centro storico di Latisana

4.4. L'evento alluvionale dell'agosto 2003 nel bacino del Fella

La calamità naturale verificatasi alla fine dell'agosto 2003 ha riguardato invece esclusivamente il bacino del fiume Fella, il maggior tributario del Tagliamento. L'evento fu generato da un intenso fenomeno piovoso, caratterizzato da precipitazioni orarie sull'ordine dei 70-80 mm/ora, con picchi di 88 mm/ora, per una durata massima di 4 ore e senza interruzioni (Borga *et al.*, 2007): il pluviometro di Pontebba registrò 293 mm di



Fig. 6: le colate detritiche derivanti prevalentemente dal rio Cucco provocano forti accumuli di sedimento nel paese di Malborghetto

pioggia caduti in questo breve lasso di tempo, il che permette di classificare quest'evento meteorico con un tempo di ritorno prossimo agli 800 anni (Norbiato *et al.*, 2006). Le forti piogge verificatesi in un così breve tempo causarono la saturazione delle coltri di sedimenti superficiali dei versanti, che furono soggetti

in localizzate situazioni a rotture, innesco di fenomeni gravitativi e flussi concentrati. Gli effetti dell'eccezionale pioggia si manifestarono dunque in frane e colate di sedimenti lungo i solchi torrentizi tributari del Fella (si valuta in 80000 m³ il volume della colata detritica verificatasi lungo il rio Cucco, affluente del Fella presso Malborghetto, analizzata da Marchi *et al.*, 2009) (fig. 6), la cui confluenza generò flussi di piena nel

corso principale e fenomeni di trasporto in massa ad alta capacità erosiva (Massari e Potleca, 2004): proprio questa caratteristica causò il crollo di molti edifici nel paese di Pietratagliata (fig. 7), per i quali il substrato è stato velocemente eroso dall'onda di piena (Pichilli, 2003). Le acque del Fella, dati i bassi tempi di corrivazione determinati dalle piccole dimensioni dei bacini affluenti, sono arrivate ad alzarsi per un massimo di 5 m in breve tempo, con velocità massima di innalzamento di 2 m/ora (dato dell'idrometro di Pontebba, ponte della ex discarica). I comuni più colpiti sono stati sette: Moggio Udinese, Chiusaforte, Dogna, Pietratagliata, Malborghetto, Tarvisio e Resiutta. Ad Ugovizza, frazione di Malborghetto, il torrente Uque con la sua esondazione ha riempito le abitazioni di detriti fino al secondo piano, e perfino il campanile del paese è crollato (Pichilli, 2003). A Pietratagliata, come già accennato, sono crollate sette abitazioni e si è verificato il cedimento del ponte principale, lasciando quindi il paese isolato. Le principali arterie di comunicazione della val Canale-Canal del Ferro hanno riportato ingenti danni in seguito a eventi franosi, così come le fognature, la rete di distribuzione dell'energia elettrica e quella del metano (Pichilli, 2003), lasciando i comuni in molti casi senza corrente e senz'acqua. Oltre a due vittime a Malborghetto e Ugovizza, l'evento causò notevoli danni all'economia locale, quantificabili in circa un miliardo di Euro (Tropeano *et al.*, 2004).



Fig. 7: l'erosione spondale dovuta all'alta capacità erosiva dei flussi di piena del Fella porta al cedimento di strutture e abitazioni presso Pietratagliata, alle quali viene a mancare il sostegno

5. INDICE DI DINAMICA MORFOLOGICA E CLASSIFICAZIONE DI DINAMICA DA EVENTO

L'Indice di Dinamica Morfologica (IDM) e la Classificazione di Dinamica da Evento (CDE) sono metodologie sviluppate nel protocollo di valutazione morfologica IDRAIM (Rinaldi *et al.*, 2013) di prossima pubblicazione da parte di ISPRA. Queste due metodologie analizzano i processi connessi alla dinamica d'alveo morfologica e pertanto mirano a valutare la pericolosità geomorfologica di un corso d'acqua.

L'IDM valuta le condizioni di dinamica morfologica alla media-lunga scala temporale tenendo conto sia delle variazioni morfologiche passate sia delle tendenze attuali di evoluzione. Analizzando esso delle dinamiche legate ai processi di mobilità laterale, risulta inapplicabile lungo i tratti d'alveo confinati. La valutazione si dipana attraverso tre ambiti investigativi:

- **Morfologia e processi:** riguarda le caratteristiche di alveo, fondo, sponde e tiene conto di processi e tendenze attuali e relative al passato prossimo (ultimi 10-15 anni)
- **Artificialità:** tiene conto delle opere di difesa che condizionano i processi di dinamica morfologica
- **Variazioni morfologiche:** considerano le variazioni avvenute nell'arco di almeno mezzo secolo, valutate come indicatori di instabilità che, a rigor di logica, può tornare a manifestarsi

La valutazione si basa sullo sviluppo di una serie di indicatori (tab. 1) per ognuno dei quali sono disponibili un numero limitato di risposte (scheda di valutazione IDM in appendice): tra queste si sceglie quella che meglio rappresenta il dato raccolto ed elaborato tramite rilievi geomorfologici e analisi GIS. Gli indicatori e le relative risposte sono raccolti in schede di valutazione applicabili ai tratti semiconfinati e non confinati e, per quanto riguarda le variazioni morfologiche, applicabili ai soli corsi con larghezza media maggiore di 30 metri.

SIGLA	INDICATORE	CAMPO DI APPLICAZIONE
<i>Morfologia e Processi</i>		
<i>M1</i>	Tipologia d'alveo	Tutti SC/NC
<i>M2</i>	Erodibilità delle sponde	Tutti SC/NC
<i>M3</i>	Erodibilità del fondo	Tutti SC/NC
<i>M4</i>	Processi di arretramento delle sponde	Tutti SC/NC
<i>M5</i>	Tendenze di larghezza	Tutti SC/NC
<i>M6</i>	Tendenze altimetriche	Tutti SC/NC
<i>Artificialità</i>		
<i>A1</i>	Difese di sponda	Tutti SC/NC
<i>A2</i>	Opere di rivestimento o consolidamento del fondo	Tutti SC/NC
<i>Variazioni morfologiche</i>		
<i>V1</i>	Variazione della configurazione morfologica	Solo G
<i>V2</i>	Variazioni di larghezza	Solo G
<i>V3</i>	Variazioni altimetriche	Solo G

Tab. 1: indicatori da valutare per la determinazione dell'IDM; SC: alvei semiconfinati, NC: alvei non confinati, G: alvei con larghezza >30m

Gli indicatori relativi a morfologia e processi (M1-M6) partono con l'analizzare aspetti di carattere generale, quali tipologia d'alveo e erodibilità di sponde e fondo, per poi passare a considerare le dinamiche di arretramento delle sponde ed arrivare infine a valutare le tendenze di larghezza e del fondo alla scala degli ultimi 10-15 anni.

Gli indicatori di artificialità (A1, A2) prendono in esame gli elementi artificiali presenti nei tratti oggetti di studio, valutando la loro influenza sui processi morfologici: si tiene conto negli indicatori esclusivamente di quelle opere che esplicano una certa funzione di protezione di sponde e fondo.

Gli indicatori di variazioni morfologiche (V1-V3) tengono conto di modifiche morfologiche, variazioni di larghezza e di quota dell'alveo avvenute prevalentemente nel corso degli ultimi 50-60 anni.

Gli indicatori forniscono, a seconda della risposta scelta, un punteggio più o meno alto (tab. 2) che va a determinare la valutazione finale rappresentata dal rapporto tra il punteggio ottenuto nel tratto investigato (somma dei punteggi di ogni indicatore) e il punteggio massimo ottenibile se idealmente tutti gli indicatori avessero ottenuto il loro massimo valore. Dal punteggio massimo si escludono gli indicatori non applicati a causa della mancanza di dati o per la loro non applicabilità. Il rapporto così ottenuto permette

Indicatori		D-	C-	B-	A	B	C	D	E
Morfologia e processi									
M1	Tipologia d'alveo [DL]	-	-	-	0	3	6	10	-
M2	Erodibilità delle sponde [DL]	-	-	-	0	2	4	6	8
M3	Erodibilità del fondo [DV]	-	-	-	0	2	4	6	8
M4	Processi di arretramento delle sponde [DL]	-	-	-	0	2	4	6	8
M5	Tendenze di larghezza [DL]	-	8	4	0	4	8	-	-
M6	Tendenze altimetriche [DV]	-	8	4	0	4	8	-	-
Artificialità									
A1	Difese di sponda [DL]	-	-	-	0	4	8	12	15
A2	Opere rivestimento o consolidamento fondo [DV]	-	-	-	0	4	8	12	15
Variazioni morfologiche									
V1	Variazioni configurazione morfologica [DL]	-	-	-	0	3	5	-	-
V2	Variazioni di larghezza [DL]	-	5	3	0	3	5	-	-
V3	Variazioni altimetriche [DV]	10	6	3	0	3	6	10	-

Tab. 2: punteggi relativi agli indicatori IDM

di definire la classe di dinamica morfologica, che può essere molto bassa, bassa, media, elevata o molto elevata. In base ai punteggi ricavati per ogni indicatore, si ha anche la possibilità di calcolare sub-indici il cui scopo è evidenziare tendenze caratteristiche o altre peculiarità all'interno del tratto: essi si suddividono in sub-indice di dinamica laterale (SDL, punteggio relativo agli indicatori che tengono conto della dinamica laterale), di dinamica verticale (SDV, che valuta gli indicatori di dinamica verticale), di morfologia e processi (SDM, tiene conto degli indicatori M1-M6), di artificialità (SDA, tiene conto di A1 e A2), di variazioni morfologiche (SDV, tiene conto di V1-V3). Si può inoltre calcolare il sub-indice di esondazione indotta (SEI) che, considerando i processi di

variazione di larghezza dell'alveo (M5, V2) e di tendenza altimetrica del fondo (M6, V3), valuta la propensione all'esondazione in seguito a variazioni della morfologia dell'alveo.

La CDE valuta la pericolosità potenziale derivante da processi di dinamica morfologica alla scala temporale del singolo evento di piena (inteso come fenomeno di elevata magnitudo e bassa probabilità di accadimento), e si basa sull'osservazione di evidenze, differenti per alvei non confinati e per alvei semiconfinati/confinati, che permettono di seguire un percorso logico (diagramma di flusso) basato su indicatori che rivelano la tendenza di un tratto ad esser soggetto a forti modificazioni di assetto plano-altimetrico nel corso del singolo evento formativo (fig. 8).

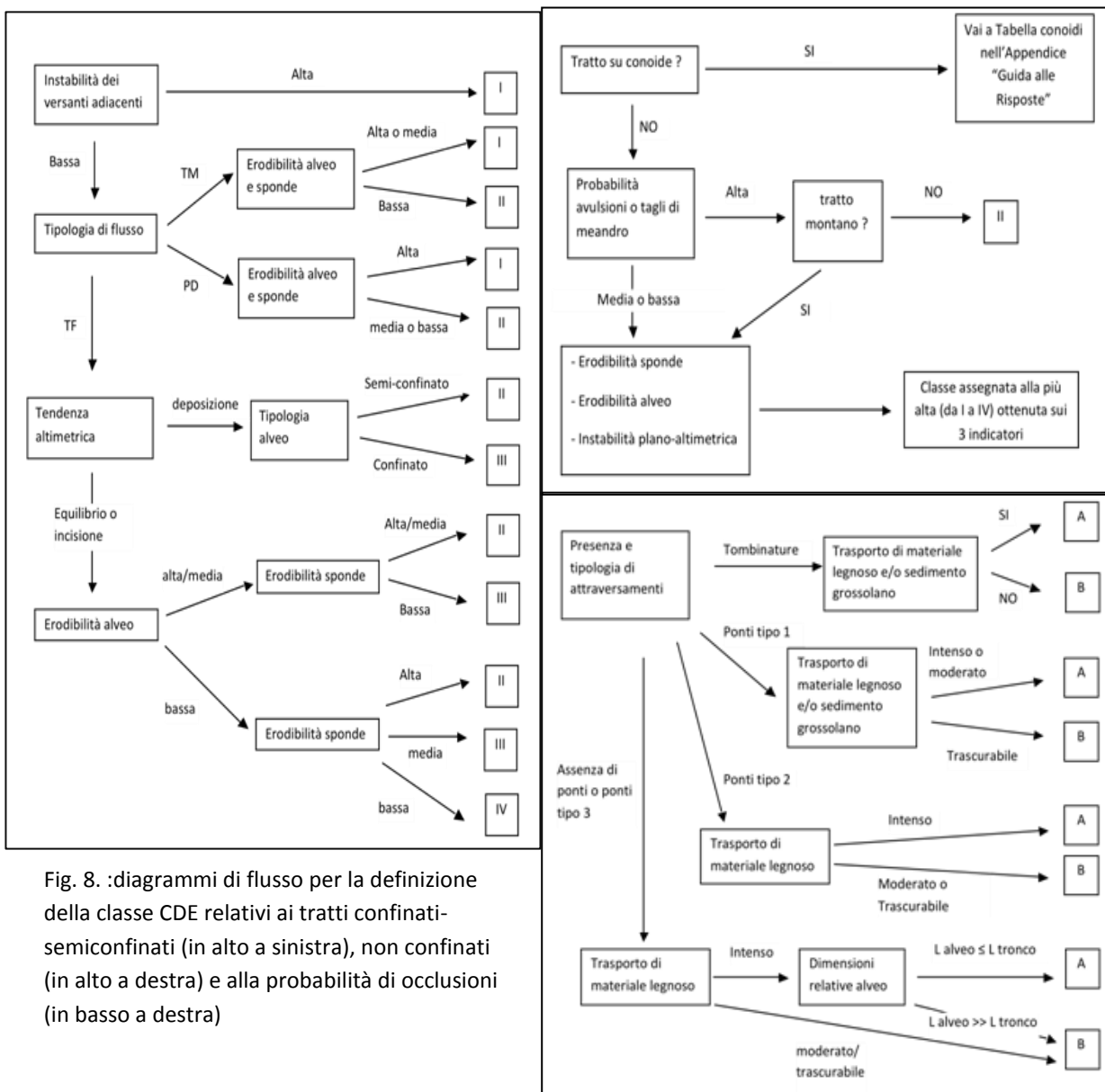


Fig. 8. :diagrammi di flusso per la definizione della classe CDE relativi ai tratti confinati-semiconfinati (in alto a sinistra), non confinati (in alto a destra) e alla probabilità di occlusioni (in basso a destra)

La necessità di differenziare lo studio di tratti non confinati e semiconfinati-confinati si basa sulla presenza, per questi ultimi, dei versanti a contatto che introducono un'ulteriore variabile nella determinazione della variazione morfologica, influenzata qui anche dai processi gravitativi in grado di interferire con le dinamiche fluviali. Inoltre, essendo gli alvei confinati meno soggetti per loro natura a variazioni plano-altimetriche ed essendo stati meno monitorati nel passato, per essi vengono presi in esame soltanto indicatori riguardanti lo stato attuale del bacino/tratto. Le variazioni investigate con le CDE possono essere sia morfologiche in senso stretto, ovvero dovute alla dinamica del trasporto di sedimenti (cambiamenti di forma e dimensione delle sezioni trasversali, variazioni del profilo longitudinale, migrazione delle posizioni delle sponde dell'alveo, processi di avulsione), che inerenti il contorno complessivo dell'alveo, includendo quindi anche eventuali accumuli di materiale legnoso che possano determinare tramite ostruzioni di sezione modifiche alla capacità di portata del tratto. Questi fenomeni sono spesso la causa maggiore di pericolosità, e possono provocare, in tempi molto brevi (poche ore), forti variazioni morfologiche nel tratto soggetto all'evento e cedimenti in opere di difesa longitudinali e trasversali e in strutture di attraversamento del corso d'acqua, che possono collassare in caso di vetustà o di inadeguatezza rispetto alle dinamiche idrologiche attese.

La valutazione della CDE si basa su due fasi distinte:

- valutazione delle variazioni morfologiche attese durante l'evento
- valutazione della probabilità circa il verificarsi di occlusioni in corrispondenza di sezioni critiche

L'incrocio delle due analisi condotte porta a definire la classe della dinamica da evento (tab. 3, 4), che può essere bassa, intermedia, elevata o molto elevata (non è qui prevista la classe molto bassa presente invece tra le possibilità di classificazione dell'indice IDM).

Come per l'IDM, le analisi per gli indicatori CDE si basano su rilievi geomorfologici e su elaborazioni GIS. Delle schede di campo affini a quelle sviluppate per l'IDM fungono da supporto nella valutazione nella fase di campo (schede CDE in appendice). Il diagramma di flusso (fig. 8) per la procedura guidata di valutazione delle variazioni morfologiche attese per alvei confinati/semiconfinati prevede di stimare:

		Probabilità occlusioni (sezioni critiche e trasporto legno)	
		Alta (A)	Bassa (B)
entità variazioni morfologiche	Molto forti (I)	Molto elevata	Molto elevata
	Forti (II)	Molto elevata	Elevata
	Medie (III)	Elevata	Intermedia
	Lievi (IV)	Intermedia	Bassa

		Probabilità occlusioni (sezioni critiche e trasporto legno)	
		Alta (A)	Bassa (B)
entità variazioni morfologiche	Forti (II)	Elevata	Elevata
	Medie (III)	Elevata	Intermedia
	Lievi (IV)	Intermedia	Bassa

Tab. 3, 4: classificazione della dinamica da evento per tratti di ambito montano (a sinistra) e per tratti non montani (a destra)

- Instabilità dei versanti adiacenti: è la prima evidenza da sondare; un'alta instabilità dei versanti determina a priori variazioni morfologiche forti a causa dei fenomeni gravitativi e del trasporto solido portato nell'alveo dagli affluenti, che possono arrivare a costituire sbarramenti temporanei
- Tipologie di flusso: si suddividono in trasporto al fondo (TF), che prevede processi relativamente poco intensi a bassa concentrazione solida, piena di detriti (PD) quando nonostante l'intensità del processo di trasporto la concentrazione di sedimento trasportato è inferiore alla soglia di passaggio verso reologie non-newtoniane, trasporto di massa (TM) caratterizzato da concentrazioni solide molto elevate quali quelle che si verificano in eventi di *debris flow* e *mud flow*
- Tendenza altimetrica: volta a definire la tendenza prevista all'interno dell'alveo durante un evento di piena alla deposizione di sedimento (e quindi aggradazione dell'alveo) o all'equilibrio-incisione
- Erodibilità di alveo e sponde: fattore complementare alla tendenza altimetrica dell'alveo nella definizione delle possibili variazioni morfologiche attese.

Per quanto riguarda il diagramma relativo all'analisi di alvei non confinati (fig. 8), esso richiede:

- Tratto su conoide: la locazione di un tratto su una superficie di conoide fluviale determina la sua trattazione specifica dovuta alla moltitudine di condizioni di flusso che si possono verificare rispetto ad altre situazioni di alvei non confinati
- Probabilità di avulsioni e tagli di meandro: rappresentano lo spostamento di parte dell'alveo in una differente porzione di pianura e la conseguente variazione di configurazione planimetrica; in ambito di pianura, un'alta probabilità determina un'elevata variazione morfologica attesa
- Erodibilità di alveo e sponde ed instabilità plano-altimetrica: come per i tratti confinati e semiconfinati, in assenza di altri fenomeni in grado di assegnare al tratto un'elevata valutazione di alterazione morfologica sono le variazioni legate alle sponde e all'alveo stessi a determinare la variazione morfologica

In ultima istanza si valuta la probabilità che si verifichino occlusioni (fig. 8). Si valutano:

- Presenza e tipologia di attraversamenti: classificati come tombature, ponti di tipo 1 (contraddistinti da pile in alveo aventi distanza tra di esse minore o uguale alla distanza attesa del materiale legnoso fluitato oppure con altezza dell'impalcato inferiore rispetto al tirante previsto durante l'evento), ponti di tipo 2 (con distanza tra le pile di poco maggiore rispetto alla lunghezza del materiale legnoso e altezza dell'impalcato prossima al tirante atteso), ponti di tipo 3 (che non possono in alcun modo determinare ostruzioni)
- Trasporto di materiale legnoso: determina, assieme alla presenza di attraversamenti, la causa necessaria al fine che si verifichi un'ostruzione; la presenza e le modalità di trasporto sono funzione della presenza di fasce boschive perfluviali (che possono rifornire la parte a valle del corso con materiale legnoso) e della potenza unitaria della corrente.

IDM e CDE sono valutazioni di tipo lineare e hanno lo scopo di integrarsi con metodologie tradizionalmente impiegate per l'analisi della pericolosità da esondazione (analisi e modelli idraulici). In particolare la CDE consente di identificare i tratti dove i processi di variazione del contorno fisico dell'alveo sono più rilevanti in termini di dinamica morfologica, al fine di eseguire modellazioni idrauliche e morfodinamiche più aderenti alla realtà dell'evento previsto e di valutare criticamente i risultati. Infatti allo

stato attuale non esistono modelli numerici capaci di simulare adeguatamente tali variazioni, includendo inoltre il cedimento di strutture e le occlusioni.

6. MATERIALI E METODI

Le analisi morfologiche condotte hanno richiesto l'adozione di due tecniche investigative, ossia analisi GIS (*Geographic Information Systems*) e rilievi geomorfologici di campo, utilizzate al fine di effettuare una preliminare suddivisione in tratti di Tagliamento e Fella, necessaria per concentrare lo studio su aree omogenee dal punto di vista di diversi parametri chiave che verranno descritti in seguito, e le conseguenti indagini per la determinazione degli indicatori che hanno poi concorso nel determinare il risultato finale di IDM e CDE. Per le analisi GIS si è fatto uso del software ArcGIS in versione 10.1 sviluppato dalla ESRI, strumento molto utile nella gestione numerica di dati cartografici e di immagini telerilevate, che permette la manipolazione, visualizzazione ed analisi di informazioni provenienti da svariate fonti mantenendo minima l'influenza dell'operatore sul dato prodotto (Gilvear e Bryant, 2003). Le analisi si sono succedute secondo due fasi distinte, una di suddivisione dei corsi d'acqua in tratti e la successiva di applicazione degli indicatori per il calcolo di IDM e CDE.

6.1. Dati utilizzati

I dati cartografici utilizzati in ambiente GIS comprendono ortofoto a colori ed_2011 e CTR (Carta Tecnica Regionale) in scala 1:5.000 fornite direttamente dalla regione Friuli-Venezia Giulia (fornite inizialmente in Gauss Boaga fuso est e convertite in seguito in UTM-WGS84 con trasformazioni che sfruttano i grigliati IGM), utilizzate per la copertura completa dei corsi di Tagliamento e Fella, DTM (digital elevation model) ed_2006 a scala 1:5.000 e passo 10m scaricato direttamente dal sito della regione con copertura dei corsi di Fella e Tagliamento fino a Pinzano. Si è fatto inoltre uso della carta geologica in scala 1:100.000 per una copertura di tutta la regione, di ortofoto a colori del 2003, foto aeree del 1999 a colori e foto aeree del volo GAI del 1954 a scala variabile da 1:27.000 a 1:55.000 (per le aree montane) consultate presso l'IRPI (Istituto per la Ricerca e Protezione Idrogeologica) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) di Padova; queste tre fonti di informazioni sono state utilizzate unicamente per i tratti di fiume sottoposti ad analisi in seguito alla suddivisione in tratti. Si è fatto inoltre uso di uno studio sulle fasce di pertinenza fluviale (Astori e Surian, 1999), la cui cartografia è stata

georeferenziata e analizzata in ambiente GIS, e di un DTM passo 40m a copertura totale della regione.

I dati vettoriali utilizzati riguardano invece le digitalizzazioni dei bacini idrografici e della rete idrografica della regione e dati di uso del suolo, posizione della linea delle risorgive e catasti opere. Tali dati sono stati in parte forniti dalla Regione, in parte scaricati direttamente dal sito della Regione stessa.

6.2. Metodologia

6.2.1. Inquadramento generale del bacino idrografico e suddivisione dei corsi d'acqua in tratti omogenei

I metodi presentati nel capitolo precedente (IDM e CDE) necessitano di essere applicati su tratti del corso d'acqua omogenei dal punto di vista morfologico; per questo si rende necessaria una suddivisione dell'intero corso in tratti, che rappresentano quindi l'unità di applicazione di IDM e CDE. La suddivisione in tratti avviene attraverso differenti passaggi, che prevedono una progressiva suddivisione dell'asta principale di Tagliamento e Fella fino ad ottenere una suddivisione in tratti aventi lunghezze comprese generalmente tra 1 e 5 km. Nella suddivisione si è seguita la metodologia illustrata nel capitolo 4 del manuale IDRAIM (Rinaldi *et al.*, 2013), che prevede un susseguirsi di 4 fasi: 1. Individuazione delle unità fisiografiche; 2. Definizione del grado di confinamento; 3. Definizione della morfologia dell'alveo; 4. Suddivisione finale in tratti .

1. Individuazione delle unità fisiografiche

Le unità fisiografiche suddividono il bacino del corso d'acqua in macroaree con caratteristiche climatiche, litologiche e idrologiche il più possibile omogenee. Si suddividono in unità alpina, prealpina, intravalliva, intramorenica, di alta pianura e di bassa pianura. I dati utilizzati per la determinazione delle unità sono quelli estrapolati dalla cartografia geologica pertinente al bacino del Tagliamento. I fattori considerati per la delimitazione di tali aree sono stati prevalentemente di tipo topografico e geologico. Dall'intersezione delle unità fisiografiche con l'asse fluviale si sono poi ottenuti i segmenti fisiografici, ossia la proiezione delle unità fisiografiche sull'asse fluviale.

2. Definizione del grado di confinamento

Il confinamento, dato da fattori naturali quali versanti, depositi di frana, conoidi di affluenti, terrazzi fluviali antichi o depositi glaciali in grado di limitare la mobilità laterale dei processi fluviali, tiene conto di due parametri, ossia l'indice di confinamento e il grado di confinamento. L'indice di confinamento (I_c) rappresenta il rapporto tra larghezza della pianura (comprensiva dell'alveo) e larghezza dell'alveo, ed esprime di quanto un alveo è confinato in sezione trasversale rispetto alla larghezza della pianura. La sua misura si è ottenuta previa definizione di transetti ortogonali alla mezzzeria dell'alveo con passo 200 m sui quali si sono calcolate le larghezze richieste dall'indice (fig. 9), i cui valori hanno potuto determinare un confinamento alto, medio o basso. Il grado di confinamento (G_c) esprime invece la percentuale di lunghezza di un tratto in cui si verifica o meno (presenza/assenza) la condizione di confinamento (contatto diretto con elementi che impediscono la mobilità laterale). Il grado di confinamento permette di distinguere le tre casistiche di alveo confinato, semiconfinato e non confinato (Brierly, Fryirs, 2005). Indice e grado di confinamento hanno permesso di determinare la classe di confinamento determinata puntualmente ogni 200 m sull'alveo, e quindi, raggruppando valori contigui omogenei e mediandone i relativi indici, si è operata una prima suddivisione del corso d'acqua in macrotratti (fig. 10). Nella parte montana del corso d'acqua il confinamento è dato principalmente dai versanti, mentre a valle di Pinzano sono i terrazzi pleistocenici a limitare la pianura alluvionale attiva. Il confinamento non è stato calcolato per il Tagliamento in bassa pianura, dato che oltre la terminazione dei terrazzi antichi non vi sono elementi naturali in grado di limitare le dinamiche fluviali.

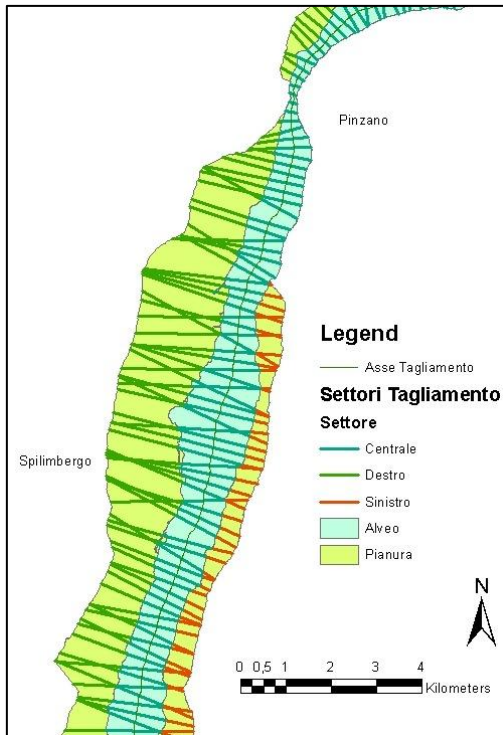


Fig. 9: determinazione della larghezza delle fasce di pianura e dell'alveo con l'utilizzo dei transetti

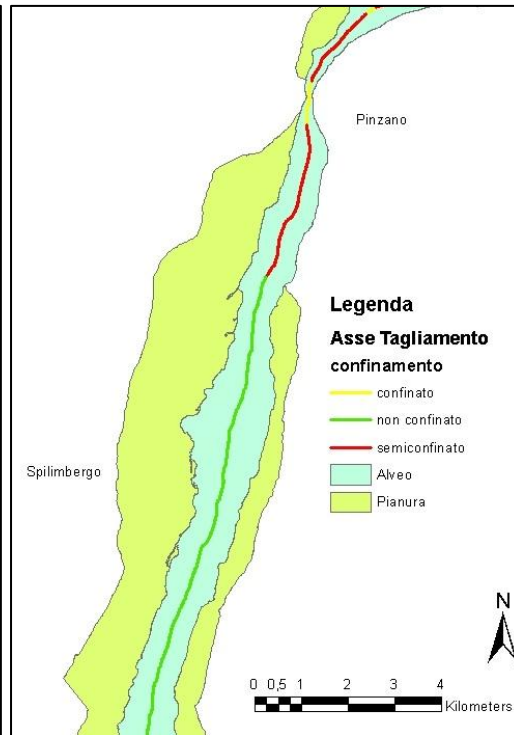
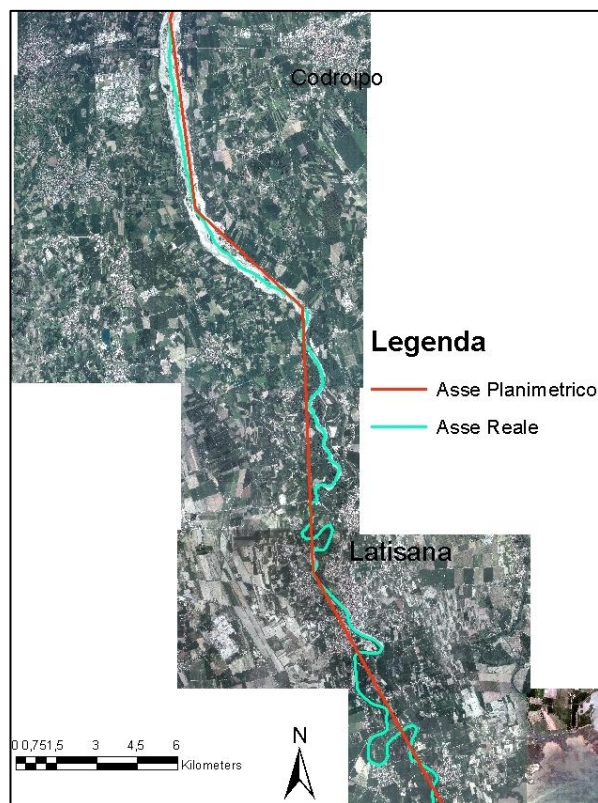


Fig. 10: prima suddivisione del corso d'acqua in tratti basata sul confinamento

3. Definizione della morfologia dell'alveo

La definizione della morfologia si è basata sul calcolo di indice di sinuosità (I_s) e indice di intrecciamento (I_i), mentre si è tralasciato il calcolo dell'indice di anastomizzazione (I_a) non essendoci per Tagliamento e Fella tratti caratterizzati da alveo anastomizzato. Gli indici sono stati calcolati solamente per le porzioni d'alveo con morfologia dubbia non determinabile in modo univoco con la sola analisi qualitativa dell'alveo. Il calcolo dell'indice di intrecciamento è stato realizzato contando il numero di canali attivi su transetti perpendicolari all'alveo a passo di 200m e calcolando la media di canali per il totale di conteggi effettuati. Il calcolo è stato effettuato solo per i tratti di corso d'acqua a morfologia incerta, ossia che per lunghezze superiori al chilometro alternano porzioni a canale singolo e a canali multipli complicando l'assegnazione ad una determinata morfologia. Il calcolo dell'indice di sinuosità è stato applicato laddove è stata riconosciuta la morfologia a canale singolo: si è tracciato l'asse planimetrico del fiume (fig. 11), che evidenzia le macrovariazioni di direzione del corso d'acqua, e si è calcolato l'indice come rapporto tra lunghezza di un tratto di asse reale e il corrispondente tratto di asse planimetrico. Questi due indici hanno permesso di identificare con un certo



grado di oggettività la morfologia dei corsi d'acqua in tutti quei punti in cui essa poteva risultare dubbia o eccessivamente dipendente dal giudizio dell'operatore. La morfologia di transizione sinuosa a barre alternate è stata identificata esclusivamente per riconoscimento visuale da telerilevamento.

Fig. 11: tracciamento dell'asse planimetrico per il segmento di bassa pianura del Tagliamento

4. Suddivisione finale in tratti

Una volta definiti confinamento e morfologie presenti lungo l'intero corso del Tagliamento e del Fella si sono potuti definire i tratti, ossia porzioni di fiume omogenee per le caratteristiche investigate. La considerazione finale per la definitiva suddivisione dei tratti è stata individuare ulteriori discontinuità all'interno dei tratti di lunghezza superiore ai 5 km (per comodità di studio, i tratti devono avere infatti lunghezza inferiore), ulteriormente suddivisi quindi in corrispondenza di punti di brusca variazione di pendenza al fondo, variazione di larghezza dell'alveo, confluenze, terminazione dei terrazzi pleistocenici e, nella porzione di alveo a sud di Latisana ove nessuno di questi può rappresentare un valido criterio di suddivisione, in corrispondenza di punti di flesso disegnati dal tracciato planimetrico dell'alveo tra i meandri. In seguito a quest'ultima suddivisione, si sono definitivamente ricalcolati alcuni indici per verificare il mantenimento di morfologia e confinamento.

In questa fase del lavoro sono stati ottenuti in GIS i seguenti dati:

Margini dell'alveo: ricavati mediante digitalizzazione su ortofoto, sono rilevati mediante assegnazione soggettiva del grado di attività delle superfici definito considerando

principalmente il grado ed il tipo di copertura vegetale (Gurnell *et al.*, 1994; Gurnell, 1997; Winterbottom, 2000). Di fatto, si considerano appartenenti all'alveo tutte le aree per le quali avviene trasporto al fondo di materiale .

Margini della pianura: la pianura rappresenta la superficie costituita da sedimenti alluvionali che può potenzialmente risentire, seppure occasionalmente, di uno o di entrambi i principali tipi di processi geomorfologici che determinano la continuità laterale (erosione, esondazione) (Rinaldi *et al.*, 2013). La digitalizzazione si è basata su DEM a passo 10m utilizzato in visualizzazione *hillshade* (simulazione dell'irraggiamento solare su una superficie corrugata), il che permette una veloce ed intuitiva individuazione delle superfici piane all'interno delle valli ed i limiti di versanti e conoidi, e sulle CTR, i cui dati di quota hanno consentito di rilevare dislivelli non determinabili col DEM ma comunque essenziali per il corretto tracciamento del limite della piana. Il dato ottenuto è stato inoltre confrontato con le carte delle fasce di pertinenza fluviale, che hanno costituito una valida verifica.

Asse (o mezzeria) dell'alveo: determinato per la maggior parte con procedura meccanica a partire dai margini dell'alveo utilizzando poligoni di Thiessen (luoghi di punti equidistanti da una serie di punti scelti, nel nostro caso equidistanti dalle sponde dell'alveo) (fig. 12), metodo inutilizzabile per alvei di larghezza inferiore ai 20 m per i quali la digitalizzazione è avvenuta manualmente. L'asse è servito più volte a raccogliere tra i suoi attributi i dati di confinamento, morfologia e la finale suddivisione in tratti al fine di visualizzare in ArcGIS i risultati georiferiti. È servito inoltre nella fase di elaborazione degli indicatori IDM a raccogliere le informazioni su questi e a georiferirle.



Fig. 12: poligoni di Thiessen realizzati per la determinazione dell'asse dell'alveo, la cui forma è intuibile lungo il tratto rappresentato; i poligoni di Thiessen sono definiti come luogo di punti equidistanti da una serie di punti scelti: nel caso di studio, i punti utilizzati sono quelli lungo i margini dell'alveo

Profili altimetrici: ottenuti tramite assegnazione di quote da DEM con passo 40 m (l'unico disponibile in questa fase di elaborazione) all'asse dell'alveo ed esportando i dati ottenuti su foglio di calcolo; utili per osservare l'andamento generale delle pendenze e per individuare significative variazioni nel profilo longitudinale dei corsi d'acqua.

Progressive dell'asse: ossia un insieme di punti a passo variabile a seconda delle necessità di calcolo seguenti l'andamento dell'asse dell'alveo. Sono state utilizzate più volte come dato intermedio per l'elaborazione di dati non calcolabili su geometrie lineari, specificatamente in fasi di analisi del confinamento e dei profili altimetrici.

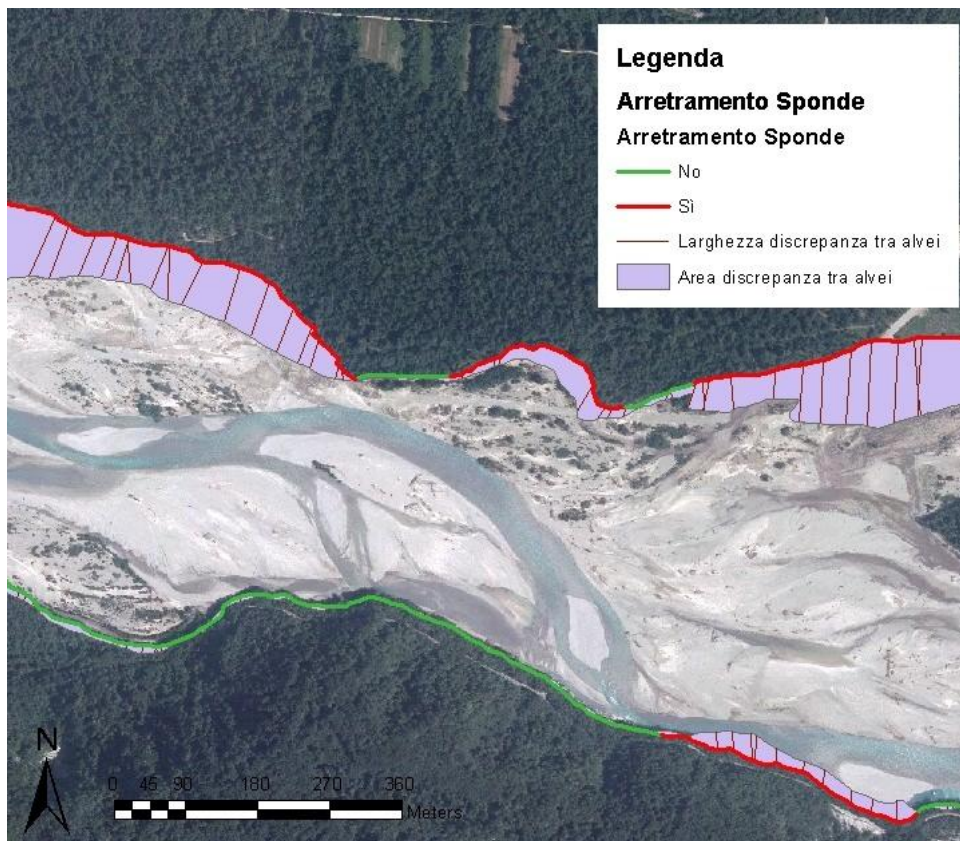
Transetti: ottenuti con procedura meccanica previo utilizzo del software GEORAS di Hec che consente la manipolazione di dati idrologici in ambiente GIS, ortogonali all'asse dell'alveo e con passo 200 m. Si sono rivelati molto utili per la determinazione delle lunghezze necessarie al fine di calcolare l'indice di confinamento, per il calcolo dell'indice di intrecciamento e per procedure legate alla seconda fase di elaborazioni per gli indicatori IDM.

6.2.2. Valutazione di IDM e CDE

La fase di elaborazione degli indici è avvenuta in parte in ambiente GIS e in parte tramite raccolta dati su campo, a seconda delle informazioni necessarie all'analisi. Gli indicatori sviluppati tramite elaborazione digitale grazie all'utilizzo esclusivo di dati telerilevati sono M1, M4, M5 per quanto riguarda morfologia e processi, V1, V2 per le variazioni morfologiche.

M1 (tipologia d'alveo): basato sul riconoscimento della morfologia del tratto di applicazione, già determinata nel corso della procedura di suddivisione in tratti.

M4 (processi di arretramento delle sponde): è stato necessario identificare da ortofoto tutte le porzioni di sponda arretrate rispetto alle stesse individuate nelle foto aeree del 1999/2003 opportunamente georeferenziate. Il tasso medio di arretramento annuo è invece stato estrapolato, per i tratti di sponda in arretramento, calcolando su transetti a passo 30 m perpendicolari all'asse dell'alveo attuale la distanza tra sponda attuale e sponda nel 1999/2003 (fig. 13), ottenendo così la media di valori e dividendola per il numero di anni che separano gli scatti delle immagini utilizzate.



M5 (tendenze di larghezza): si sono calcolate le larghezze medie di alveo attuale e alveo nel 1999/2003, considerate come rapporto tra area dell'alveo nel tratto (non comprensivo delle isole fluviali) e lunghezza del tratto. Si è potuto quindi risalire alla variazione percentuale di larghezza avvenuta in questa finestra temporale.

V1 (variazione di configurazione morfologica): si basa sull'individuazione di un cambiamento nella morfologia del tratto nel periodo compreso tra gli anni '50 del XX secolo e oggi; l'individuazione della morfologia negli anni '50 è avvenuta senza complicazioni per i tratti compresi tra Venzone (presso la confluenza Fella-Tagliamento) e la foce, dove le foto aeree del volo IGM GAI del '54 sono in scala 1: 27.000, mentre è stata più difficoltosa per il resto del bacino montano, dove le foto sono in scala 1:55.000 e non permettono la visualizzazione dettagliata del corso d'acqua; non potendo osservare i canali all'interno dell'alveo, è stato difficile determinare il passaggio dalle morfologie a canale singolo a quelle a canali intrecciati, per le quali si sono quindi avanzate supposizioni basate sulla larghezza dell'alveo e sulla presenza di isole fluviali.

V2 (variazione di larghezza): l'elaborazione è avvenuta tramite le medesime procedure seguite per l'M5, utilizzando l'alveo digitalizzato sul volo IGM GAI del '54 piuttosto che sulle foto del passato recente.

In questa fase della ricerca sono stati prodotti in GIS i seguenti elementi:

Margini dell'alveo nel '99/'03: digitalizzati su foto aeree/ortofoto del 1999/2003 con gli stessi criteri seguiti per il tracciamento dell'alveo attuale.

Margini dell'alveo nel '54: digitalizzati su foto aeree del volo IGM GAI del '54 con gli stessi criteri seguiti per il tracciamento dell'alveo attuale, ma con minor precisione data la minor risoluzione di queste immagini.

Margini delle isole fluviali: digitalizzati su foto aeree del 2011, del 1999/2003 e del 1954, tracciati per sottrarre all'area dell'alveo l'area delle isole per il calcolo delle larghezze medie richiesto in M5.

Le fasi di elaborazione esclusivamente digitale per le CDE riguardano:

- per tratti semiconfinati e confinati la definizione della tendenza altimetrica, considerata tenendo conto dei parametri che incidono sulla variazione di potenza della corrente e sulla connettività delle aree sorgenti di sedimento. Non si è potuti risalire alla misura effettiva della potenza della corrente non essendo disponibili sulla maggior parte dei tratti i dati idrologici necessari, ma si sono potuti determinare i parametri (o le loro variazioni) determinanti una variazione di potenza tale da promuovere sedimentazione o incisione in un tratto; si sono considerate quindi variazioni di pendenza e di larghezza dell'alveo nel tratto o nei tratti a monte vicini, e si sono poi valutate le ampiezze dei bacini sottesi dai tratti (delimitati grazie alle funzioni di elaborazione idrologica presenti in ArcGIS) e le aree sorgenti di sedimento direttamente connesse al tratto, considerate in base alla lontananza dal tratto stesso e a pendenza e larghezza dei corsi d'acqua di connessione.
- per tratti non confinati erodibilità di sponde ed alveo ed instabilità plano-altimetrica, che riconsiderano i dati già raccolti ed elaborati per l'IDM

In questa fase sono stati prodotti in GIS i seguenti elementi:

Bacini idrografici minori: ricavati dalle digitalizzazioni di bacini idrografici reperite sul sito della Regione e dall'elaborazione a partire dal DEM a passo 40 m grazie alla toolbox *Hydrology* in ArcGIS che consente lo sviluppo di dati idrologici.

Aree sorgenti di sedimento: considerate, a partire da informazioni di uso del suolo (Bossard *et al.*, 2000) reperite sul sito della regione, come aree caratterizzate da affioramenti rocciosi, ghiaioni e vegetazione in evoluzione.

L'applicazione di IDM e CDE richiede, oltre ad un'accurata analisi in ambiente GIS come sopra descritto, rilievi geomorfologici sul terreno. Tali rilievi, basati su una quindicina di uscite sui tratti di analisi, sono stati condotti tra luglio e settembre 2013 e hanno avuto come finalità la raccolta di informazioni morfologiche attraverso l'uso di schede da compilare durante il sopralluogo sul terreno con l'acquisizione di misure e osservazioni. Le schede di campo sono rappresentate dalla "Scheda di valutazione della dinamica morfologica di alvei semiconfinati e non confinati" (vedi appendice) affiancata alla scheda relativa alle tendenze altimetriche per le analisi relative agli indicatori IDM (vedi appendice), la "scheda per la valutazione di dinamica da evento" per le CDE, suddivisa in scheda per alvei confinati e semiconfinati e in scheda riguardante la probabilità di

occlusioni. Quest'ultima, basata sui diagrammi di flusso già menzionati nel precedente capitolo, costituisce probabilmente la parte più innovativa del metodo, richiedendo informazioni circa la probabilità del verificarsi di occlusioni durante un evento di piena mai elaborate prima in campo idromorfologico. Per le analisi di dislivello condotte si è fatto uso di una livelletta manuale a portata ottica nell'ordine dei 30÷40 m. Per avere un quadro abbastanza completo circa le dinamiche del tratto si è scelto di analizzare tre punti rappresentativi del tratto possibilmente distanziati l'uno dall'altro, metodologia non sempre applicabile date le difficoltà nel raggiungere alcune aree dell'alveo particolarmente isolate.

Nel corso dei rilievi morfologici si è fatto uso dei dati sviluppati in ambiente GIS quali limiti dell'alveo attuale e passato, limiti della pianura e database delle opere di difesa del fiume stampati su ortofoto, dati utili a indirizzare o confermare le osservazioni su campo. Si è dimostrato essenziale condurre le analisi GIS anteriormente rispetto ai rilievi su campo, per confermare il dato prodotto da telerilevamento, generalmente più incerto rispetto all'informazione raccolta in campo, e per focalizzare l'attenzione durante le uscite su tutto ciò che non è stato possibile analizzare via GIS/telerilevamento.

I dati non analizzabili da telerilevamento sono, per l'IDM, relativi agli indicatori M2, M3, M6 per quanto riguarda morfologia e processi, A1, A2 per l'artificialità, V3 per le variazioni morfologiche.

Per il calcolo di M2 si è reso necessario accertare l'erodibilità delle sponde, intuibile ma non confermabile tramite analisi da ortofoto, e stabilirne la natura differenziando le sponde non coesive o composite, costituite principalmente da ghiaie e sabbie, dalle sponde coesive, costituite interamente da limo/argilla.

L'erodibilità del fondo analizzata in M3 ha richiesto invece osservazioni per identificare quei fattori che determinano una resistenza nei confronti dell'erosione fluviale: tra questi la presenza di rivestimenti artificiali del fondo (es. soglie), la presenza di un alveo in roccia o di un fondo corazzato. Non essendo presenti rivestimenti o tratti con alveo in roccia, l'analisi si è limitata all'individuazione di porzioni di alveo corazzate, ossia caratterizzate da uno strato superficiale di sedimento molto grossolano, tale da limitare la mobilità dei sedimenti stessi.

Per gli indicatori M6 e V3, che indagano le tendenze altimetriche dell'alveo nel breve e nel lungo periodo, si è trattato di comprendere se l'alveo fosse in sedimentazione, equilibrio oppure incisione nei relativi periodi. Per M6 la scheda di campo sulle tendenze altimetriche ha permesso di ordinare le osservazioni da condurre in tre blocchi principali, le evidenze altimetriche, quelle morfologiche e quelle sedimentarie. Le altimetriche si basano sulla misurazione del dislivello tra la sommità delle barre dell'alveo e sommità delle ghiaie affioranti nella piana inondabile per la quale è riconosciuta da foto aeree una genesi recente (ultimi 10-15 anni) (fig. 14): le misure, ottenute con l'uso della livelletta da campo, sono state mediate e usate come evidenza di tendenza per l'indicatore.



Fig. 14: la misura del dislivello tra barre dell'alveo e sommità delle ghiaie sulla sponda di una piana inondabile di genesi recente rappresenta un dato importante per definire la tendenza altimetrica dell'alveo negli ultimi 10-15 anni

Le morfologiche si sono basate sul riconoscimento di forme legate a situazioni di incisione o sedimentazione nell'alveo, come barre prevalentemente erose o lobi di sedimentazione (fig. 15); queste evidenze si sono dimostrate essenziali soprattutto quando veniva a mancare il dato altimetrico, non sempre disponibile.



Fig. 15: lobo di sedimentazione identificato durante i rilievi geomorfologici in alveo

La terza evidenza è quella sedimentaria: a seconda delle tessiture osservate si può ipotizzare una determinata tendenza, incisione nel caso di forme al fondo fortemente organizzate ed embriciate, sedimentazione nel caso di completa assenza di organizzazione del sedimento al fondo. Quest'ultima metodologia non ha fornito evidenze significative per la classificazione della tendenza altimetrica. Per le tendenze nel lungo termine investigate dall'indicatore V3 l'unico dato utile è quello fornito dalla misura del dislivello tra sommità delle barre nell'alveo attuale e sommità delle ghiaie su superfici formatesi dopo gli anni '50: queste sono molto spesso rappresentate da terrazzi adiacenti alla piana inondabile.

In alcuni casi non è stato possibile determinare M6 e V3 data la difficoltà nel reperire dati: la mancanza di evidenze morfologiche e la mancanza di superfici per la misura del dislivello o la difficoltà stessa nell'effettuare le misurazioni hanno restituito in alcuni casi misure poco precise, mentre in altri non hanno permesso la classificazione.

A1 e A2 si occupano di dare una stima circa l'artificialità del corso d'acqua: essendo molto spesso i catasti opere incompleti o poco aggiornati, si rende necessario integrare sul campo l'informazione sull'ubicazione, e sullo stato (efficienza) delle opere spondali (A1) e delle opere al fondo (A2).

La raccolta di dati su campo ha richiesto anche l'analisi di evidenze volte a determinare in modo univoco la classe CDE tramite utilizzo dei diagrammi di flusso previsti dal manuale IDRAIM. Per i tratti semiconfinati e confinati i dati raccolti su campo riguardano:

- l'instabilità dei versanti adiacenti, per i quali si sono osservate distribuzione dei fenomeni franosi e numerosità delle colate detritiche lungo i collettori principali, dato poi confermato via GIS tramite utilizzo di carta geologica in scala 1:100000, catasti frane ottenuti dal sito della regione (APAT, 2007) e dati storici relativi ad eventi pregressi nei tratti in questione
- le tipologie di flusso, distinguibili in trasporto al fondo (processi di trasporto solido relativamente poco intensi), piena detritica (situazione di passaggio tra trasporto al fondo e reologie "non newtoniane" con trasporto dei clasti relativamente intenso e caotico) e trasporto di massa (processi a concentrazione solida molto elevata quali *debris flow*, *mud flow*, flussi iperconcentrati), individuabili in campo tramite analisi di depositi sedimentari recenti nell'alveo e confermate in ambiente GIS dalla pendenza media dei tratti
- l'efficienza delle opere di difesa realizzate lungo i tratti, che durante un evento calamitoso rischiano di essere fortemente danneggiate e, oltre a non svolgere il loro ruolo di difesa, rischiano di aggravare la pericolosità morfologica e idrologica

Per i tratti non confinati i dati utili alla determinazione della CDE sono relativi a indicatori IDM già sviluppati; l'unica informazione rilevata in campo per la dinamica da evento riguarda la possibilità che si verifichino avulsioni o tagli di meandro lungo i tratti analizzati, questione in parte risolta via GIS e tramite indicatori IDM riguardanti l'erosibilità delle sponde e la tendenza altimetrica dell'alveo e verificata in campo con osservazioni circa la presenza ed efficacia di opere di difesa in punti critici lungo i tratti.

Per la classificazione delle CDE si è tenuto conto anche del rischio di occlusione determinato dalla presenza di ponti e attraversamenti generici lungo i tratti: in campo si sono valutate larghezza tra pile in alveo e altezza dell'impalcato che hanno consentito di valutare la possibilità del verificarsi di ostruzioni una volta tenuto conto del tirante massimo atteso e delle lunghezze massime del materiale legnoso fluitato durante eventi estremi, valutate in circa 25 metri (Bertoldi *et al.*, 2011).

7. RISULTATI

I risultati emersi dall'applicazione dei metodi testé descritti vengono qui organizzati in tre sezioni, relative ai risultati della determinazione delle unità fisiografiche e suddivisione in tratti, a quelli di elaborazione degli indicatori IDM e di sviluppo della CDE.

7.1. Determinazione delle unità fisiografiche e suddivisione in tratti del corso d'acqua

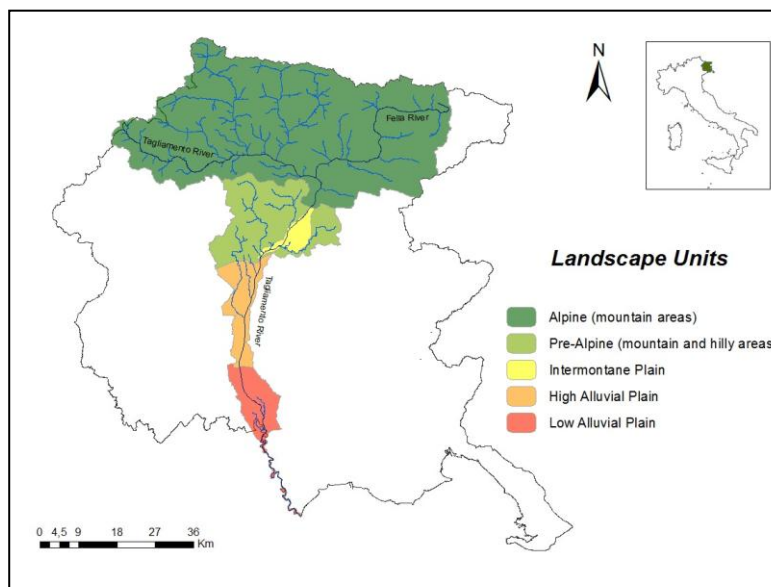


Fig. 16 : suddivisione del bacino in unità fisiografiche

La demarcazione tra unità fisiografiche alpina e prealpina è stata tracciata in prossimità di una delle più evidenti discontinuità orografiche, ossia un margine di sovrascorrimento che separa due domini litologici ben definiti; il limite tra

unità in questo caso rimarca la linea spartiacque che meglio lo rappresenta e più si avvicina ad esso. Il limite tra unità prealpina e di alta pianura è stato posto all'altezza di Pinzano, dove si hanno le ultime evidenze di litologie affioranti. Per quanto riguarda il limite tra unità di alta e di bassa pianura, lo si è posto all'altezza della linea delle risorgive (indicata in carta geologica) facendolo passare nei pressi di Codroipo; si era però considerata anche la possibilità di far passare tale limite per il punto di cambio pendenza (estrapolato dal profilo longitudinale del corso d'acqua) nei pressi di Madrisio. L'unità intravalliva rappresenta all'interno degli ambiti alpino e prealpino le aree ove si riscontra una pianura rilevante compresa tra i versanti in prossimità dei corsi del Tagliamento e del Fella.

La metodologia GIS di suddivisione in tratti di Tagliamento e Fella ha portato all'individuazione definitiva di ben 86 tratti (fig. 18) di lunghezza genericamente compresa tra 1 e 5 km. La numerazione è progressiva e parte dall'estremità a monte del Tagliamento per giungere ai tratti prossimi alla foce e da qui riprendere con l'estremità a monte del Fella per terminare alla confluenza di questo nel Tagliamento. Come descritto nel capitolo riguardante le metodologie, la suddivisione ha tenuto conto di confinamento, morfologia e altri parametri quali pendenza o larghezza d'alveo e presenza di confluenze significative.

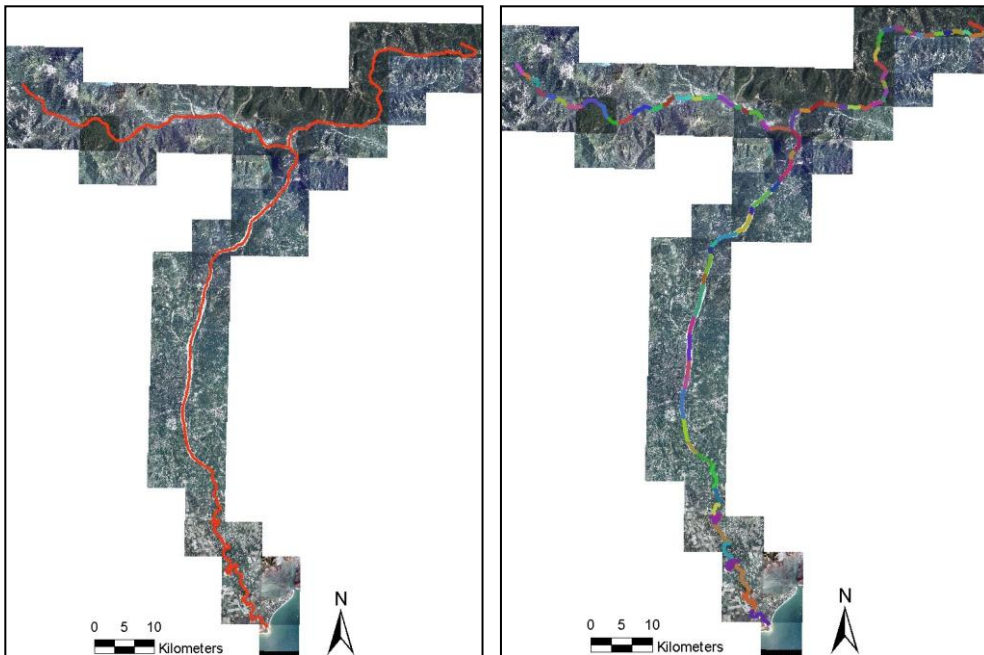


Fig. 17, 18: Suddivisione dell'asse dell'alveo di Tagliamento e Fella (a sinistra) in tratti (a destra)

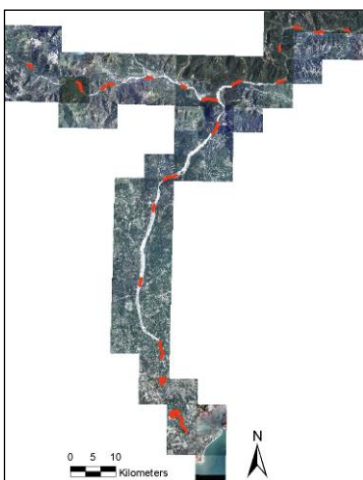


Fig. 19: rappresentazione dei 20 tratti scelti per le analisi

Per l'applicazione degli indici descritti in quest'elaborato si sono considerati 20 tratti tra quelli determinati la cui scelta è stata condotta cercando di rilevare tutte le combinazioni tra morfologia e confinamento presenti e distribuendo omogeneamente i tratti lungo il corso dei due fiumi (fig. 19). Si sono dunque selezionati 6 tratti per il Tagliamento montano (dalla sorgente alla confluenza col Fella), 6 per il fiume Fella, 2 per il tratto d'alveo tra

Venezze e Pinzano (nella piana d’Osoppo), 2 per l’alta pianura e 4 per la bassa. La scelta è ricaduta preferenzialmente su tratti in prossimità di centri abitati, per i quali la pericolosità può tradursi in una più o meno elevata situazione di rischio.

Fiume	Tratto	Località	l (m)	a. f.	lc	Gc	Confinamento	li	Is	Morfologia	S (%)
Tagliamento	3	Forni di sopra	2002	montano	4,62	0,06	semiconfinato	1,22		transizionale wandering	3,13
Tagliamento	9	Ampezzo	2998	montano	1,29	0,89	confinato			sinuoso barre alternate	2,15
Tagliamento	12	Socchieve	3800	montano	1,38	0,76	confinato			canale singolo	2,06
Tagliamento	17	Villa Santina	1519	intravallivo	4,91	0,50	semiconfinato	1,67		canali intrecciati	0,65
Tagliamento	21	Tolmezzo	1476	intravallivo	4,88	0,00	non confinato	1,67		canali intrecciati	0,70
Tagliamento	24	Amaro	3690	intravallivo	3,14	0,18	semiconfinato			canali intrecciati	0,54
Tagliamento	28	Bordano	3029	intravallivo	3,99	0,08	non confinato	3,00		canali intrecciati	0,49
Tagliamento	34	Cornino	3602	prealpino	1,86	0,50	semiconfinato	2,09		canali intrecciati	0,47
Tagliamento	38	Gaio	1860	alta pianura	3,96	0,00	non confinato			canali intrecciati	0,72
Tagliamento	43	Valvasone	2116	alta pianura			non confinato			canali intrecciati	0,34
Tagliamento	48	Madrisio	4422	bassa pianura			non confinato		1,13	sinuoso barre alternate	0,26
Tagliamento	51	Latisanotta	3908	bassa pianura			non confinato		2,38	meandriforme	-0,12
Tagliamento	54	Cesarolo	5091	bassa pianura			non confinato		4,23	meandriforme	0,00
Tagliamento	55	Gorgo	5235	bassa pianura			non confinato		1,11	sinuoso	0,00
Fella	60	Ugovizza	1469	montano	31,58	0,00	non confinato		1,17	letto piano	1,46
Fella	64	Santa Caterina	2125	montano	4,78	0,09	non confinato	1,33		transizionale wandering	1,68
Fella	68	San Leopoldo	1656	montano	4,70	0,11	semiconfinato	1,40		transizionale wandering	2,11
Fella	73	Pietratagliata	1285	montano	1,28	0,79	confinato			canale singolo	2,13
Fella	79	Chiusaforte	1920	montano	2,69	0,39	semiconfinato	2,11		canali intrecciati	1,09
Fella	84	Moggio Udinese	2551	montano	2,01	0,33	semiconfinato			sinuoso barre alternate	0,69

Tab. 5: caratteristiche generali per i tratti analizzati; l: lunghezza del tratto, a.f.: ambito fisiografico, lc: indice di confinamento, Gc: grado di confinamento, li: indice di intrecciamento, Is: indice di sinuosità, S: pendenza media

7.2. Applicazione dell’IDM e della CDE

Le analisi condotte tramite software GIS e rilievo sul terreno hanno permesso l’elaborazione dei dati utili alla classificazione degli indicatori che concorrono a definire l’IDM.

L’affidabilità del dato ricavato varia sensibilmente da indicatore a indicatore a seconda delle metodologie cui ci si è affidati per l’elaborazione; i dati interamente trattati via GIS sono quelli più affidabili e che meno risentono del fattore interpretativo, mentre i dati rilevati su campo spesso hanno dovuto subire una valutazione più o meno soggettiva. È il caso degli indicatori M6 e V3 relativi alle tendenze altimetriche dell’alveo nel recente (ultimi 10-15 anni) e nel lungo periodo (ultimi 60 anni circa).

Fiume	Tratto	Località	M1	M2	M3	M4	M5	M6	A1	A2	V1	V2	V3
Tagliamento	3	Forni di Sopra	D	B	E	C	A	C-	C	D	A	B-	B-
Tagliamento	9	Ampezzo	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Tagliamento	12	Socchieve	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Tagliamento	17	Villa Santina	D	B	E	C	B+	no data	E	E	A	A	no data
Tagliamento	21	Tolmezzo	D	C	E	C	A	A	C	E	A	B-	B-
Tagliamento	24	Amaro	D	C	E	C	B+	A	D	E	A	A	B-
Tagliamento	28	Bordano	D	C	E	C	A	C+	C	E	A	B-	A
Tagliamento	34	Cornino	D	C	E	D	B+	C+	E	E	A	B-	B-
Tagliamento	38	Gaio	D	D	E	D	A	A	D	E	A	C-	A
Tagliamento	43	Valvasone	D	E	E	E	B+	C+	E	E	A	C-	B-
Tagliamento	48	Madrisio	C	E	E	D	A	A	E	E	A	C-	B-
Tagliamento	51	Latisanotta	B	D	E	D	C+	A	D	E	A	C-	B-
Tagliamento	54	Cesarolo	B	C	E	A	A	no data	D	E	A	A	no data
Tagliamento	55	Gorgo	A	D	E	A	A	no data	E	E	A	A	no data
Fella	60	Ugovizza	C	A	E	A	/	C-	A	D	/	/	/
Fella	64	Santa Caterina	D	D	E	D	C+	C-	C	D	B	C+	B-
Fella	68	San Leopoldo	D	B	E	D	B+	B-	C	E	A	C+	B-
Fella	73	Pietratagliata	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Fella	79	Chiusaforte	D	B	E	A	A	no data	C	E	A	C-	no data
Fella	84	Moggio Udinese	C	C	E	C	A	C+	D	D	C	B-	B-

Tab. 6: valori degli indicatori IDM calcolati lungo i tratti; in rosso sono indicati i valori affetti da un elevato grado di incertezza

Come già trattato, il calcolo di questi si è basato principalmente sulla misura del dislivello tra altezza delle barre nell'alveo e altezza delle superfici con genesi attribuibile al periodo considerato per la valutazione dell'indicatore. Altre evidenze per M6 sono quelle morfologiche e quelle sedimentologiche. Ora, l'analisi delle tessiture dei sedimenti nell'alveo non ha mai permesso di supporre o verificare tendenze altimetriche, il che significa che per il calcolo si sono avute a disposizione solamente evidenze di dislivello e evidenze morfologiche. Valutando infine che le evidenze morfologiche sono spesso limitate e non sempre presenti, e difficilmente quindi possono permettere da sole una valutazione incontrovertibile, l'analisi più convincente per questi indicatori resta la misura del dislivello. Per poterla condurre, è necessario che siano presenti le superfici che, specie per M6, spesso mancano a causa di una recente fase di allargamento dell'alveo che ha eroso superfici di recente formazione (Ziliani e Surian, 2012; Ziliani, 2011), e che il dislivello sia facilmente calcolabile previo utilizzo della livelletta da campo; di fatto, distanze di misurazione elevate e presenza di vegetazione posta tra osservatore e superficie investigata complicano non poco la raccolta dati, che quindi si traduce in M6 e V3 caratterizzati da un certo grado di incertezza. Il dato utilizzato per il calcolo dell'indicatore è risultato incerto anche per V1, dove, come già accennato nel capitolo materiali e metodi, le foto aeree del volo IGM GAI '54 non sempre permettono l'esatta individuazione della morfologia passata del tratto, costringendo l'operatore a dedurla tramite osservazioni circa la larghezza e presenza di

isole (questo solo per il bacino montano del Tagliamento dove le foto sono state realizzate in scala 1:55.000). Altro caso è rappresentato dall'indicatore A1 che rileva la presenza di difese spondali: per i tratti di bassa pianura, apparentemente non soggetti a massicce difese di sponda, c'è la possibilità che esse siano sepolte sotto una coltre di alluvioni di potenza ignota accumulate dalle passate esondazioni del Tagliamento; a favore di quest'ipotesi il fatto che la posizione dell'alveo non sia cambiata negli ultimi 60 anni. I tratti sono ad ogni modo stati considerati non difesi, essendo le sponde erodibili per lo spessore di limi e argille depositi sulle eventuali difese.

Gli indicatori e i punteggi ad essi attribuiti hanno permesso il calcolo dell'indice IDM (tab. 7) per ogni tratto e di definirne quindi la pericolosità da dinamica morfologica.

Fiume	Tratto	Località	M1	M2	M3	M4	M5	M6	A1	A2	V1	V2	V3	Ptot	Pna	Pmax	IDM	Classe
Tagliamento	3	Forni di sopra	D	B	E	C	A	C-	C	D	A	B-	B-	58	0	100	0,58	media
			10	2	8	4	0	8	8	12	0	3	3					
Tagliamento	17	Villa santina	D	B	E	C	B+	no data	E	E	A	A	no data	58	18	82	0,71	elevata
			10	2	8	4	4		15	15	0	0						
Tagliamento	21	Tolmezzo	D	C	E	C	A	A	C	E	A	B-	B-	55	0	100	0,55	media
			10	4	8	4	0	0	8	15	0	3	3					
Tagliamento	24	Amaro	D	C	E	C	B+	A	D	E	A	A	B-	60	0	100	0,60	media
			10	4	8	4	4	0	12	15	0	0	3					
Tagliamento	28	Bordano	D	C	E	C	A	C+	C	E	A	B-	A	60	0	100	0,60	media
			10	4	8	4	0	8	8	15	0	3	0					
Tagliamento	34	Cornino	D	C	E	D	B+	C+	E	E	A	B-	B-	76	0	100	0,76	elevata
			10	4	8	6	4	8	15	15	0	3	3					
Tagliamento	38	Gaio	D	D	E	D	A	A	D	E	A	C-	A	62	0	100	0,62	media
			10	6	8	6	0	0	12	15	0	5	0					
Tagliamento	43	Valvasone	D	E	E	E	B+	C+	E	E	A	C-	B-	84	0	100	0,84	elevata
			10	8	8	8	4	8	15	15	0	5	3					
Tagliamento	48	Madrisio	C	E	E	D	A	A	E	E	A	C-	B-	66	0	100	0,66	media
			6	8	8	6	0	0	15	15	0	5	3					
Tagliamento	51	Latisanotta	B	D	E	D	C+	A	D	E	A	C-	B-	66	0	100	0,66	media
			3	6	8	6	8	0	12	15	0	5	3					
Tagliamento	54	Cesarolo	B	C	E	A	A	no data	D	E	A	A	no data	42	18	82	0,51	media
			3	4	8	0	0		12	15	0	0						
Tagliamento	55	Gorgo	A	D	E	A	A	no data	E	E	A	A	no data	44	18	82	0,54	media
			0	6	8	0	0		15	15	0	0						
Fella	60	Ugovizza	C	A	E	A	/	C-	A	D	/	/	/	34	28	72	0,47	bassa
			6	0	8	0		8	0	12								
Fella	64	Santa Caterina	D	D	E	D	C+	C-	C	D	B	C+	B-	77	0	100	0,77	elevata
			10	6	8	6	8	8	8	12	3	5	3					
Fella	68	San Leopoldo	D	B	E	D	B+	B-	C	E	A	C+	B-	65	0	100	0,65	media
			10	2	8	6	4	4	8	15	0	5	3					
Fella	79	Chiusaforte	D	B	E	A	A	no data	C	E	A	C-	no data	48	18	82	0,59	media
			10	2	8	0	0		8	15	0	5						
Fella	84	Moggio Udinese	C	C	E	C	A	C+	D	D	C	B-	B-	65	0	100	0,65	media
			6	4	8	4	0	8	12	12	5	3	3					

Tab.7: calcolo dell'IDM e definizione della classe di pericolosità per i tratti analizzati; nelle colonne da M1 a V3 sono riportati i punteggi attribuiti ad ogni indicatore; Ptot: somma dei punteggi dei singoli indicatori, Pna: somma dei massimi punteggi attribuibili agli indicatori non sviluppati, Pmax: massimo punteggio ottenibile per gli indicatori sviluppati

Il calcolo dell'IDM è avvenuto attribuendo un punteggio ad ogni indicatore variabile a seconda del peso dell'indicatore stesso e a seconda del risultato. La somma dei punteggi per ogni tratto è stata divisa per il massimo punteggio ottenibile nel tratto attribuendo

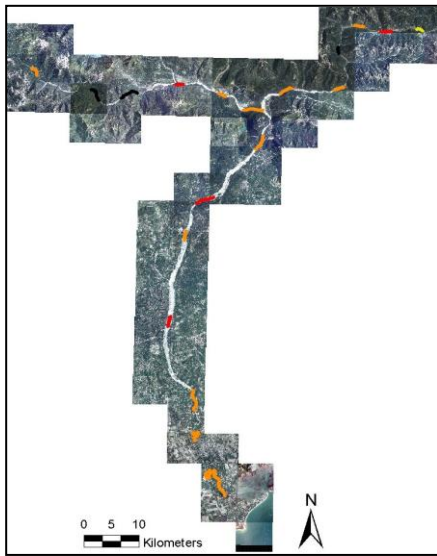


Fig. 20: classe IDM ottenuta per i tratti; in giallo la dinamica bassa, in arancione la dinamica media, in rosso la dinamica elevata, in nero i tratti non soggetti ad applicazione dell'IDM perché confinati

ad ogni indicatore il valore massimo (escludendo il punteggio degli indicatori non considerati per mancanza dati o per non applicabilità). Dei 7 tratti nei quali si sono determinati indicatori (M6, V1) con basso grado di incertezza, in seguito al calcolo nel punteggio finale dei risultati possibili per due tratti solamente è emersa la possibilità di un cambiamento nella classe IDM finale, ossia nei tratti di Madrisio e Latisanotta che oscillano tra le classi media e elevata. Delle 5 classi disponibili per la classificazione IDM (dinamica molto bassa, bassa, media, elevata, molto elevata) solamente 3 sono emerse dall'analisi dei 17 tratti, ossia dinamica bassa, media ed elevata. La dinamica bassa si riscontra solamente nel tratto di Ugovizza sul Fella, caratterizzato da un'intensa presenza di elementi di artificialità che ne limita quindi la pericolosità morfologica. La maggior parte dei tratti è caratterizzata da una dinamica media, mentre 4 tratti, localizzati a Villa Santina, Cornino, Valvasone e Santa Caterina, restituiscono una dinamica morfologica elevata. Gli indicatori definiti per il calcolo dell'IDM hanno permesso anche la determinazione dei sub-indici, ossia di punteggi parziali relativi ad una ristretta gamma di indicatori, utili a definire le dinamiche che maggiormente hanno influenzato il punteggio finale IDM (tab. 8).

Fiume	Tratto	Località	SDL	SDV	IDMm	IDMa	IDMv
Tagliamento	3	Forni di sopra	0,27	0,31	0,32	0,20	0,06
Tagliamento	17	Villa santina	0,43	0,28	0,34	0,37	0,00
Tagliamento	21	Tolmezzo	0,29	0,26	0,26	0,23	0,06
Tagliamento	24	Amaro	0,34	0,26	0,30	0,27	0,03
Tagliamento	28	Bordano	0,29	0,31	0,34	0,23	0,03
Tagliamento	34	Cornino	0,42	0,34	0,40	0,30	0,06
Tagliamento	38	Gaio	0,39	0,26	0,30	0,27	0,08
Tagliamento	43	Valvasone	0,50	0,34	0,46	0,30	0,08
Tagliamento	48	Madrisio	0,40	0,26	0,28	0,30	0,08
Tagliamento	51	Latisanotta	0,40	0,26	0,31	0,27	0,08
Tagliamento	54	Cesarolo	0,23	0,28	0,18	0,33	0,00
Tagliamento	55	Gorgo	0,26	0,28	0,17	0,37	0,00
Fella	60	Ugovizza	0,08	0,39	0,31	0,17	0,00
Fella	64	Santa Caterina	0,46	0,31	0,46	0,20	0,11
Fella	68	San Leopoldo	0,35	0,30	0,34	0,23	0,08
Fella	79	Chiusaforte	0,30	0,28	0,24	0,28	0,06
Fella	84	Moggio Udinese	0,32	0,31	0,30	0,24	0,09

Tab. 8: sub-indici ottenuti da punteggi parziali degli indicatori IDM; SDL: sub-indice di dinamica laterale, SDV: sub-indice di dinamica verticale, IDMm: sub-indice di morfologia e processi, IDMa: sub-indice di artificialità, IDMv: sub-indice di variazioni morfologiche

Fiume	Località	Tratto	SEI
Tagliamento	Forni di sopra	3	-0,25
Tagliamento	Tolmezzo	21	0,06
Tagliamento	Amaro	24	-0,25
Tagliamento	Bordano	28	0,44
Tagliamento	Cornino	34	0,19
Tagliamento	Gaio	38	0,19
Tagliamento	Valvasone	43	0,25
Tagliamento	Madrisio	48	0,13
Tagliamento	Latisanotta	51	-0,19
Fella	Santa Caterina	64	-0,88
Fella	San Leopoldo	68	-0,63
Fella	Moggio Udinese	84	0,38

Tab. 9: determinazione del sub-indice di esondazione indotta (SEI), ottenuto sulla base degli indicatori M5, V2 di variazione di larghezza dell'alveo e M6, V3 di tendenza altimetrica

Per ultimo, il sub-indice di esondazione indotta (SEI), determinato sulla base degli indicatori M5, M6, V2, V3 ed attribuendo loro punteggi specifici al fine di stimare la probabilità di esondazione provocabile dalla variazione di larghezza e quota dell'alveo (tab. 9).

Il calcolo del SEI non è stato determinato per i tratti in cui non si sono rinvenuti dati utili alla risoluzione degli indicatori M6 e V3.

1.3-Applicazione della CDE

Le indagini condotte basandosi sui diagrammi di flusso della CDE hanno permesso di quantificare la pericolosità morfologica da evento (tab. 10), individuata da 4 gradi

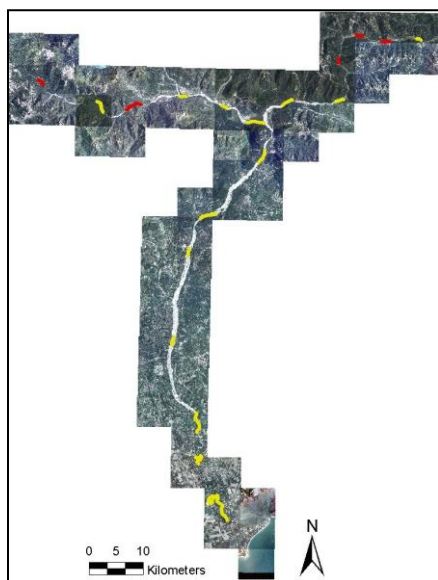


Fig. 21: classi CDE ottenute per i tratti, in giallo i tratti caratterizzati da dinamica elevata, in rosso quelli a dinamica molto elevata

(variazioni morfologiche molto forti, forti, medie, lievi) che, tenuto conto della probabilità che si verifichino occlusioni (probabilità alta o bassa), determinano la classificazione della dinamica da evento finale, anch'essa valutata in 4 classi (molto elevata, elevata, intermedia, bassa). Gli aspetti di incertezza qui sono gli stessi rilevati per le IDM, dato che molti indicatori sviluppati per l'IDM sono poi serviti per l'individuazione della CDE. Le classi riscontrate sui 20 tratti sono esclusivamente di due tipi, ossia elevata e molto elevata (fig. 21). La molto elevata si rileva nei tratti più a monte di Tagliamento e Fella, caratterizzati da una marcata instabilità dei versanti.

Fiume	Tratto	Località	Variazione morfologica	Prob. occlusioni	CDE
Tagliamento	3	Forni di sopra	Forte	Alta	molto elevata
Tagliamento	9	Ampezzo	Media	Alta	elevata
Tagliamento	12	Socchieve	Molto forte	Alta	molto elevata
Tagliamento	17	Villa Santina	Forte	Bassa	elevata
Tagliamento	21	Tolmezzo	Forte	Bassa	elevata
Tagliamento	24	Amaro	Forte	Bassa	elevata
Tagliamento	28	Bordano	Forte	Bassa	elevata
Tagliamento	34	Cornino	Forte	Bassa	elevata
Tagliamento	38	Gaio	Forte	Bassa	elevata
Tagliamento	43	Valvasone	Forte	Bassa	elevata
Tagliamento	48	Madrisio	Forte	Alta	elevata
Tagliamento	51	Latisanotta	Forte	Bassa	elevata
Tagliamento	54	Cesarolo	Forte	Bassa	elevata
Tagliamento	55	Gorgo	Forte	Bassa	elevata
Fella	60	Ugovizza	Media	Alta	elevata
Fella	64	Santa Caterina	Forte	Alta	molto elevata
Fella	68	San Leopoldo	Molto forte	Alta	molto elevata
Fella	73	Pietratagliata	Molto forte	Bassa	molto elevata
Fella	79	Chiusaforte	Forte	Bassa	elevata
Fella	84	Moggio Udinese	Forte	Bassa	elevata

Tab. 10: determinazione della CDE per i tratti studiati, la cui classe dipende dall'entità delle variazioni morfologiche attese e dalla probabilità che si verifichino occlusioni

Vengono di seguito riportati i risultati relativi ai singoli tratti:

Tratto 3 – Fiume Tagliamento, Forni di Sopra

l (m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	valore IDM	classe IDM	CDE
2002	montano	semiconfinato	transizionale wandering	3,13	0,58	media	molto elevata

Tab. 11: caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; l: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media; f. m.: fondo mobile

IDM

Il tratto di Forni di Sopra è, tra quelli analizzati, quello posto più a monte per il Tagliamento. La significativa presenza lungo il tratto di difese di sponda (scogliere in massi) determina la limitata erodibilità delle sponde dell'alveo (M2 e A1), mentre le opere di difesa del fondo si limitano alla presenza di 5 briglie di consolidamento, che non pregiudicano la possibilità del verificarsi di variazioni altimetriche del fondo (M3 e A2). La presenza di sponde difese si traduce anche in limitate variazioni di larghezza dell'alveo negli ultimi 15 anni, data la sua ridotta possibilità di divagare (M4). Il dislivello riscontrato tra altezza delle barre attuali e altezza della piana inondabile di recente

formazione (ultimi 15 anni) ha permesso di determinare la recente tendenza all'incisione del tratto, che risulta essersi approfondito di circa 0,5 metri (M6). La misura del dislivello con i terrazzi recenti è stata derivata, vista la presenza di dislivelli variabili all'interno del tratto, dalla media delle misure effettuate (considerando sempre il dislivello rispetto al terrazzo più alto). Tali misure indicano un'incisione media di circa 2 metri (V3). Vista la bassa risoluzione delle foto aeree relative al volo IGM GAI '54 (scala 1:55.000) nel bacino montano del Tagliamento, è stato difficile identificare la morfologia passata; certamente la mancanza nel '54 di difese di sponda permetteva localmente al corso d'acqua di allargarsi, ma in generale la larghezza media di allora per il tratto è comparabile con quella attuale (V2), suggerendo l'assenza di variazioni di configurazione morfologica (V1). Nel complesso, le caratteristiche investigate si traducono in una dinamica morfologica media.

CDE

Una dinamica da evento molto elevata è stata determinata sulla base dei seguenti aspetti. La tendenza alla sedimentazione prevista in un evento intenso per (1) la connessione con estese aree sorgenti di sedimento e (2) per la presenza a monte, a circa 3 km di distanza, di una struttura di trattenuta di sedimenti che, in caso di rottura, rilascerebbe nel tratto ingenti quantità di sedimento probabilmente sotto forma di piene detritiche. La presenza di due ponti classificati di tipo 1 aggravano la pericolosità da dinamica morfologica nel tratto, la CDE risulta quindi molto elevata.

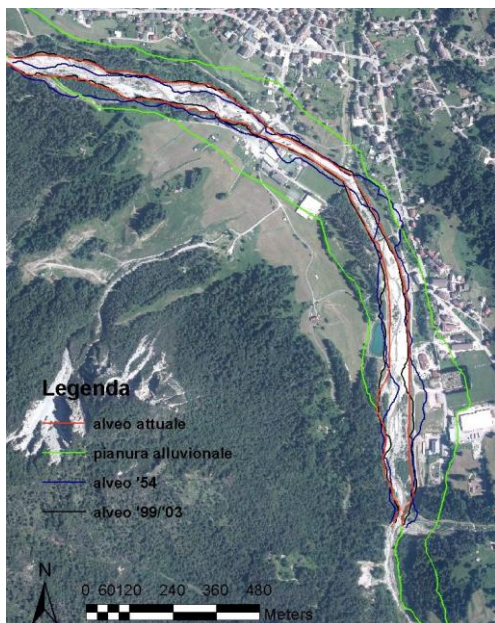


Fig. 22: foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura alluvionale



Fig. 23: parte intermedia del tratto, fortemente modificata dall'attività umana, che rinforzando le sponde ha ristretto l'alveo e realizzato ponti con luci ridotte

Tratto 9 – Fiume Tagliamento, Ampezzo

l (m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	valore IDM	classe IDM	CDE
2998	montano	confinato	sinuoso barre alternate	2,15	\	\	elevata

Tab.12: caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; l: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media

CDE

Il tratto presso Ampezzo, essendo confinato, non è stato oggetto di applicazione degli indicatori IDM. I dati raccolti sono finalizzati alla classificazione della CDE che nel tratto risulta elevata, data l'elevata erodibilità dell'alveo prevista presumendo un aumento di potenza unitaria della corrente dovuto alla riduzione della sezione idraulica nel tratto a monte e al locale aumento di pendenza. Il tratto, confinato e contornato da estesi boschi a prevalenza di faggio, non è impattato a livello antropico né da opere di difesa né da strutture di attraversamento.



Fig. 24: foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura alluvionale

Tratto 12 – Fiume Tagliamento, Socchieve

l (m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	valore IDM	classe IDM	CDE
3800	montano	confinato	canale singolo alveo f m	2,06	\	\	molto elevata

Tab. 13 : caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; l: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media; f. m.: fondo mobile

CDE

Nel tratto, come per quello precedentemente descritto, si sono elaborati i dati utili alla determinazione della sola CDE. All'estremità a monte è presente una traversa che raccoglie le acque per convogliarle verso il lago di Verzegnis grazie ad una presa, il cui prelievo d'acqua è tale da lasciare in alcuni periodi dell'anno i tratti a valle completamente asciutti. Il tratto è inoltre caratterizzato da discontinue difese spondali (scogliere in massi) nella sua parte più a monte e da un gasdotto che lo attraversa a 15 m d'altezza (non rappresenta quindi un possibile fattore d'impedimento al deflusso idrico). La dinamica da evento per il tratto è molto elevata data l'instabilità dei versanti caratterizzati da intensi fenomeni franosi, come quello estremo che nel 1692 seppellì il paese di Borta sotto un accumulo ancora oggi in parte visibile nei pressi dell'alveo.

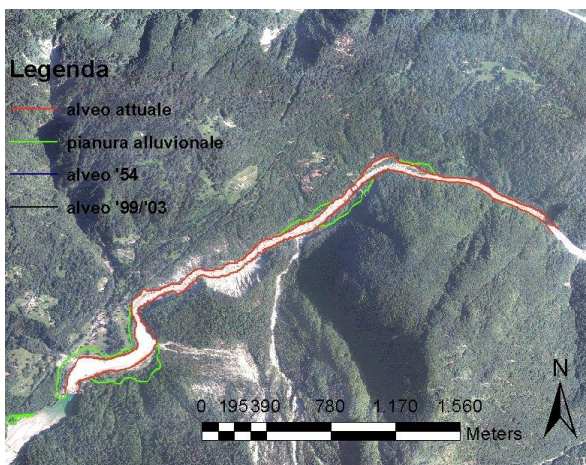


Fig. 25: foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura alluvionale



Fig. 26: nicchia di distacco dell'enorme frana di Borta, 1692



Fig. 27: traversa posta all'estremità a monte del tratto, che raccoglie le acque del fiume convogliate da una presa verso Verzegnis

Tratto 17 – Fiume Tagliamento, Villa Santina

l (m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	valore IDM	classe IDM	CDE
1519	intravallivo	semiconfinato	canali intrecciati	0,65	0,71	elevata	elevata

Tab. 14: caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; l: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media

IDM

Il tratto studiato nei pressi di Villa Santina ha come limite superiore la confluenza del Tagliamento col torrente Degano e si chiude all'altezza del ponte sulla stretta di Col di Zuca. Non è stato possibile determinare gli indicatori M6 e V3 relativi alle tendenze altimetriche dell'alveo per mancanza di superfici utili al calcolo dei dislivelli: in sinistra fluviale l'attribuzione della maggior parte della pianura al torrente Degano unitamente alla presenza nel recente passato di cave di estrazione di sedimento hanno confermato lo scarso significato delle misure ivi condotte, mentre la destra idrografica, a stretto contatto con i versanti, non offre possibilità di effettuare tali misure. L'assoluta mancanza di difese antropiche nel tratto (A1, A2) e l'erodibilità del fondo e di parte delle sponde (M2, M3) fanno sì che l'IDM risultante sia elevato.

CDE

La classe attribuita alla classificazione da evento, determinata dall'erodibilità di alveo e sponde, risulta elevata e non risente della presenza del ponte, privo di pile in alveo e, per questo, influente sulla probabilità del verificarsi di occlusioni.

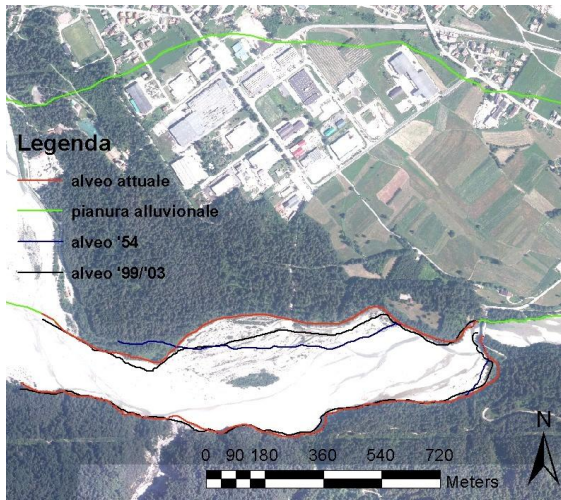


Fig. 28 : foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura alluvionale

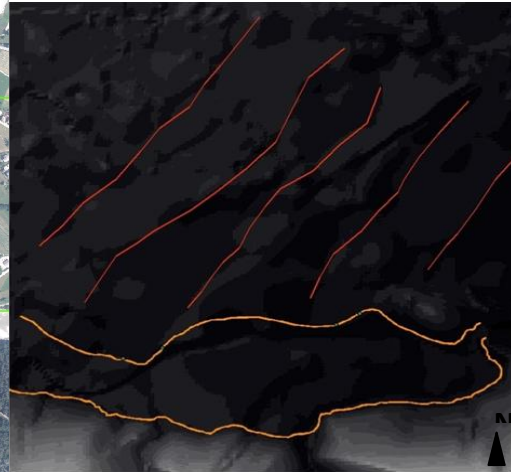


Fig. 29: l'andamento delle quote, evidenziato in rosso sul DEM a passo 10 m, permette di attribuire la pianura a nord del tratto al torrente Degano (in arancione l'alveo attuale)



Fig. 30: il ponte presso col di Zuca, senza pile in alveo, permette il transito durante le piene senza il rischio di occlusioni

Tratto 21 – Fiume Tagliamento, Tolmezzo

l (m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	valore IDM	classe IDM	CDE
1476	intravallivo	non confinato	canali intrecciati	0,70	0,55	media	elevata

Tab. 15: caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; l: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media

(IDM

Il tratto ha inizio poco oltre l'immissione, in sinistra idrografica, del torrente But nel Tagliamento, e costeggia la zona industriale di Tolmezzo, comune più volte martoriato nel corso della storia dalle esondazioni del Tagliamento. La classe IDM assegnata è media: il tratto, difeso con continuità in sinistra fluviale con opere in muratura (A1), non ha riscontrato variazioni morfologiche nel periodo recente (M5, M6), che sono

evidenti invece nel lungo termine (V2, V3) con moderate tendenze al restringimento e all'incisione.

CDE

A determinare la classe elevata è l'erosività dell'alveo, potenzialmente soggetto a fasi di incisione durante un evento di elevata intensità. Erodibilità di sponde e instabilità planimetrica sono invece classificate come medie. Lungo il tratto non sono presenti attraversamenti.

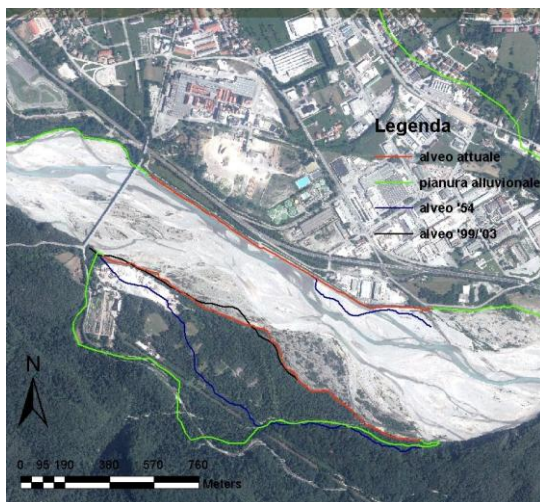


Fig. 31: foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura



Fig. 32: panoramica del tratto visto dal ponte di Tolmezzo che evidenzia la larghezza del tratto e, in lontananza, le difese spondali lungo la sponda sinistra

Tratto 24 – Fiume Tagliamento, Amaro

l (m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	valore IDM	classe IDM	CDE
3690	intravallivo	semiconfinato	canali intrecciati	0,54	0,60	media	elevata

Tab. 16: caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; l: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media

IDM

Per il tratto di Amaro, compreso tra il ponte del ramo autostradale della A23 sul Tagliamento e la confluenza col fiume Fella, l'IDM ha restituito una classe di dinamica media similmente al tratto precedentemente descritto, con il quale condivide molti aspetti; le differenze riscontrate rispetto al tratto di Tolmezzo riguardano la tendenza di larghezza recente (M5) e nel lungo periodo (V2), che constano nel tratto studiato rispettivamente in un moderato allargamento dell'alveo e in nessuna variazione. Il tratto

è quasi completamente sprovvisto di difese spondali (A1), il che determina l'alta erodibilità delle sponde (M2), soprattutto di quella sinistra.

CDE

I fattori che maggiormente influiscono sulla CDE elevata sono le alte erodibilità di alveo e sponde, in parte difese da scogliere in massi discontinue e visibilmente poco efficienti in caso di evento intenso per la loro vetustà: la loro realizzazione risale probabilmente agli anni '70, quando la zona golenale in sinistra idrografica era occupata da cantieri per la realizzazione dell'autostrada successivamente abbandonati, e da allora, essendo venuto a mancare l'oggetto di protezione, non sono più state mantenute.

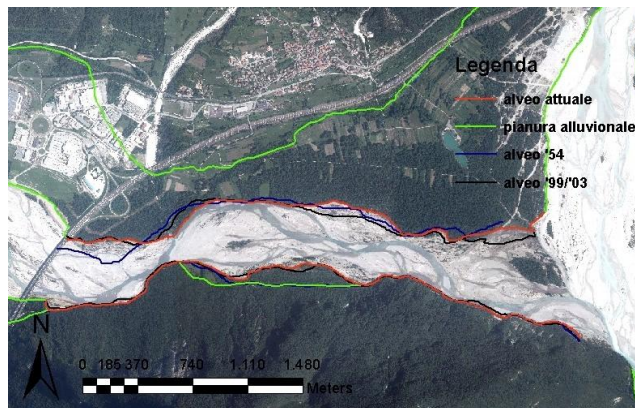


Fig. 33: foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura alluvionale



Fig. 34: panoramica del tratto presso Amaro; sulla destra si intravedono le difese spondali usurate

Tratto 28 – Fiume Tagliamento, Bordano

l (m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	valore IDM	classe IDM	CDE
3029	intravallivo	non confinato	canali intrecciati	0,49	0,60	media	elevata

Tab. 17: caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; l: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media

IDM

Il tratto si trova circa 6 km a valle della confluenza del Tagliamento col fiume Fella e si sviluppa tra i comuni di Bordano in destra idrografica e Ospedaletto di Gemona in sinistra, comune più volte interessato dalle alluvioni nel passato. Le sponde del tratto

sono ampiamente difese con opere in muratura nei pressi di Ospedaletto, dove si rileva anche un'importante derivazione per il funzionamento della centrale idroelettrica di Pineda: l'impianto, costruito nel 1901, rappresenta un'importante testimonianza del primo sviluppo industriale nell'area. Difese spondali e pennelli fluviali trascurati e fatiscenti sono invece presenti lungo la sponda destra del fiume, dove i numerosi percorsi sterrati che mettono Bordano in comunicazione col fiume e la topografia irregolare della fascia perifluviale fanno pensare a una passata attività estrattiva. La presenza di tali difese (A1), le moderate erodibilità (M2) e arretramento (M4) delle sponde e la recente tendenza alla sedimentazione (verificata per l'indicatore M6 dalla quota della piana alluvionale recente, mediamente 40 cm più bassa delle barre, e dalla presenza diffusa di lobi di sedimentazione soprattutto nella parte destra dell'alveo) si traducono in una classe IDM media.

CDE

La medio-alta erodibilità di sponde, fondo e instabilità plano-altimetrica determina una CDE di dinamica elevata. Le vetuste difese spondali presenti in destra idrografica non sono state considerate per la classificazione da evento, data l'inefficacia attesa in caso di un evento di forte intensità.



Fig. 35: pennello abbandonato e inattivo in destra idrografica



Fig. 36: chiusa che controlla la quantità di acqua derivata per il funzionamento della centrale di Pineda

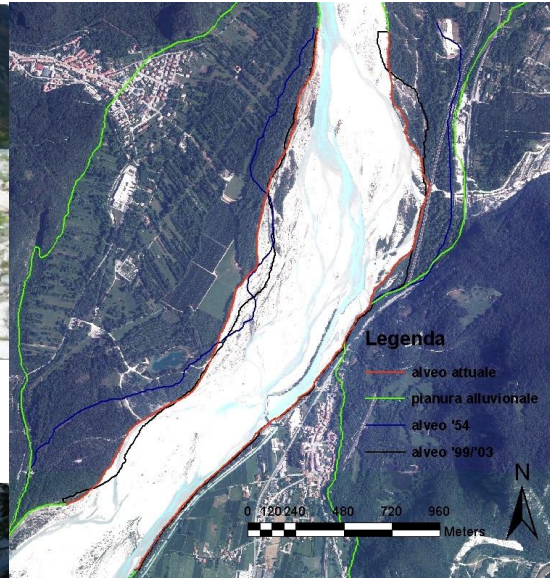


Fig. 37: foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura alluvionale

Tratto 34 – Fiume Tagliamento, Cornino

l (m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	punteggio IDM	classe IDM	CDE
3602	prealpino	semiconfinato	canali intrecciati	0,47	0,76	elevata	elevata

Tab. 18: caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; l: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media

IDM

Il tratto è ubicato ai piedi del monte di Ragogna, a nord-est della stretta di Pinzano, in un'area poco impattata dall'uomo ben preservata dal punto di vista naturalistico. L'IDM risulta elevata soprattutto per la mancanza assoluta di opere di difesa nel tratto (A1, A2): la sponda destra risulta erodibile nella sua totalità (M2) e mostra un arretramento rilevante nell'ultima decade (M4). Le dinamiche morfologiche recenti (M5 e M6) denotano una moderata tendenza all'allargamento dell'alveo e alla sua aggradazione messa in evidenza dalla presenza molto diffusa di lobi di sedimentazione. La tendenza nel lungo periodo (V2, V3) contrariamente denota un restringimento dell'alveo e

un'incisione del fondo certamente inferiore ai 3 metri; per lo sviluppo di quest'ultimo dato non si sono potute acquisire misure a causa della vegetazione frapposta tra barre e terrazzo, costringendo l'operatore ad un'analisi di tipo qualitativo.

CDE

La CDE è elevata per l'alta erodibilità dell'alveo, sprovvisto di opere di consolidamento del fondo, prevista durante un evento intenso.

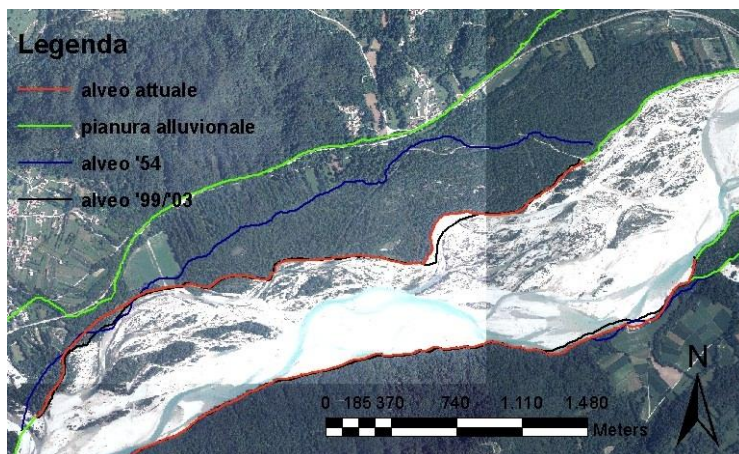


Fig. 38: foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura alluvionale



Fig. 39: parte dell'alveo del tratto, compresa tra il monte di Ragogna e un'estesa isola fluviale; si intuisce il la tendenza alla sedimentazione, in quanto l'isola si trova a quota leggermente inferiore rispetto alla barra

Tratto 38 – Fiume Tagliamento, Gaio

l(m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	punteggio IDM	classe IDM	CDE
1860	alta pianura	non confinato	canali intrecciati	0,72	0,62	media	elevata

Tab. 19: caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; l: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media

IDM

Il tratto è localizzato pochi chilometri a valle rispetto alla stretta di Pinzano, in prossimità del centro abitato di Gaio di Spilimbergo. È un tratto d'alta pianura, caratterizzato da

una considerevole larghezza media (circa 770 m) che complica il calcolo dei dislivelli per gli indicatori M6 e V3 data la portata ottica limitata della livelletta da campo. La valutazione relativa all'indicatore M6 si è basata su evidenze non quantificabili, non essendo disponibili porzioni di piana inondabile di recente formazione; il dato ottenuto è inevitabilmente soggetto ad un certo grado di incertezza, che ad ogni modo non pregiudica l'assegnazione della classe media all'indice IDM. L'analisi della tendenza altimetrica nel lungo periodo (V3) è stata ottenuta tramite misurazioni di dislivello verificate con dati ricavati dal lavoro di Ziliani e Surian (2012) riguardante l'evoluzione morfologica del Tagliamento per i tratti compresi tra Pinzano e Latisana, che ne hanno confermato l'attendibilità.

CDE

La dinamica da evento risulta elevata in risposta alle alte erodibilità delle sponde e del fondo e all'elevata instabilità planimetrica attesa; il tratto è difeso in maniera discontinua con scogliere in massi solo lungo la sponda sinistra, il che implica che durante un evento eccezionale si potrebbero riattivare superfici che in passato facevano parte dell'alveo, andato restringendosi nel corso dell'ultimo secolo (Ziliani, Surian, 2012).

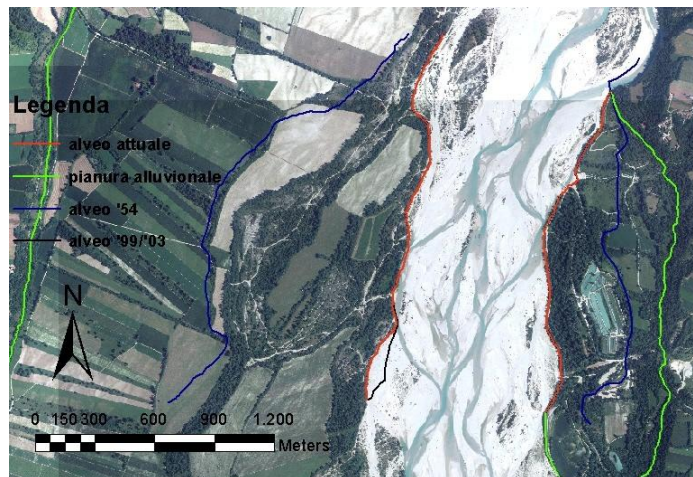


Fig. 40: foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura alluvionale



Fig. 41: panoramica sull'alveo, che in alta pianura arriva ad avere larghezza superiore al chilometro in alcuni punti

Tratto 43 – Fiume Tagliamento, Valvasone

l (m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	punteggio IDM	classe IDM	CDE
2116	alta pianura	non confinato	canali intrecciati	0,34	0,84	elevata	elevata

Tab. 20: caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; l: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media

IDM

Quello di Valvasone presso Codroipo è il tratto caratterizzato dal punteggio IDM più elevato, pari a 0,84. Il tratto è privo di opere di difesa (A1, A2): le sponde, non coesive, e l'alveo sono erodibili per la loro interezza (M2, M3), e le dinamiche morfologiche nel breve periodo (M5, M6) e nel lungo (V2, V3) sono medio-alte. Per l'indicatore M6 è stata osservata una chiara tendenza dell'alveo all'aggradazione testimoniata da diffusi lobi di sedimentazione, mentre la risposta all'indicatore V3 si è basata sui dati del lavoro di Ziliani e Surian (2012), più attendibili per la metodologia di raccolta, e si traduce in una moderata tendenza all'incisione. Le variazioni di larghezza (M5, V2) riflettono quanto osservato da Ziliani e Surian, (2012), ossia una forte tendenza al restringimento nel lungo periodo e un moderato allargamento nel breve.

CDE

I dati, già elaborati per la determinazione dell'IDM, circa erodibilità di alveo e fondo e instabilità plano-altimetrica sono concordi nel definire l'intensità di dinamica da evento attesa, e portano a definire la dinamica da evento in classe elevata.

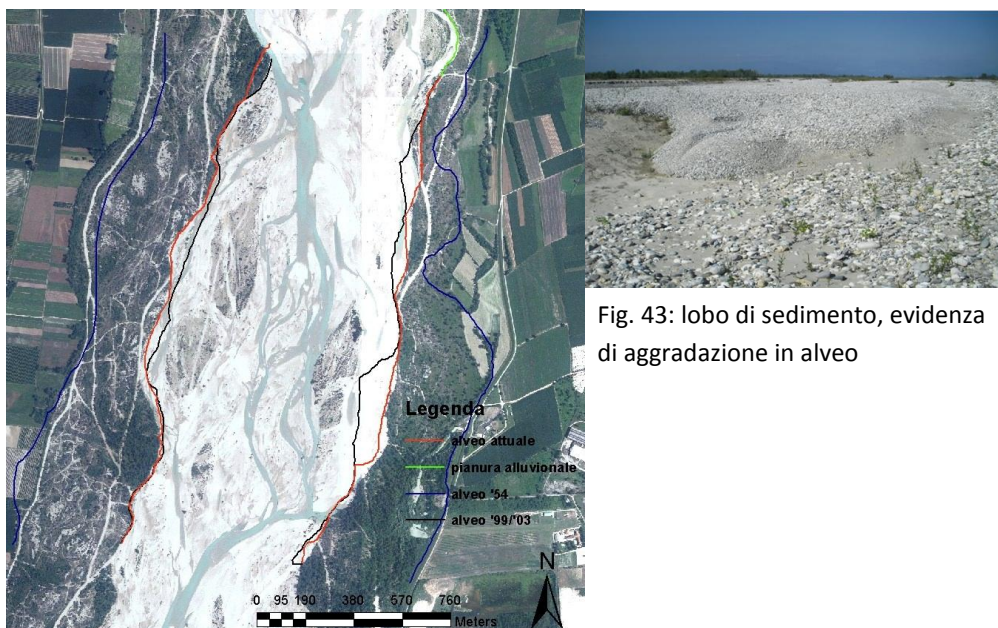


Fig. 42: foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura alluvionale

Fig. 43: lobo di sedimento, evidenza di aggradazione in alveo

Tratto 48 – Fiume Tagliamento, Madrisio

l (m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	punteggio IDM	classe IDM	CDE
4422	bassa pianura	non confinato	sinuoso barre alternate	0,26	0,66	media/elevata	elevata

Tab. 21: caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; l: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media

IDM

La porzione di fiume cui il tratto appartiene è di bassa pianura: l'afflusso di acque, provenienti dalla falda, che emergono lungo la fascia delle risorgive, determina un incremento della portata idrica del fiume, mentre il cambio di pendenza media del corso d'acqua, che avviene proprio nei pressi di Madrisio, determina un rallentamento nel deflusso delle acque del Tagliamento, che tende a evolvere la sua morfologia da canali intrecciati a sinuoso-meandriforme e a trasportare granulometrie sempre più fini; il tratto studiato ha di fatto una morfologia di transizione tra quella a canali intrecciati e le morfologie caratteristiche della bassa pianura. Le difficoltà incontrate nella determinazione delle tendenze altimetriche (M6, V3), date dalla presenza di rigogliosa vegetazione e dalla difficile individuazione dei livelli ghiaiosi per le superfici in analisi, ricoperte da grossi spessori di limi e argille, hanno richiesto l'utilizzo dei dati di tendenza altimetrica elaborati da Ziliani e Surian, 2012, che attestano moderata incisione nel

lungo periodo ed equilibrio nel breve; l'incertezza del dato utilizzato per M6 ha prodotto nella determinazione dell'IDM una variabilità di classe che oscilla, a seconda del valore di M6, tra media e elevata. Le sponde, completamente erodibili (il tratto è sprovvisto di difese), sono state considerate non coesive, essendo costituite da un esteso banco di limi e argille poggianti su un livello ghiaioso sottostante ("sponde composite"), che determina un'elevata erodibilità per i margini dell'alveo (M2). La classe IDM che emerge dall'analisi degli indicatori risulta medio/elevata: la mancanza di difese (A1, A2) e la dinamica moderata osservata nel lungo periodo (V2, V3) sono bilanciate dall'assenza di variazioni nel breve periodo (M5, M6).

CDE

Sull'elevata CDE influiscono l'alta instabilità plano-altimetrica, l'erodibilità del fondo, e la presenza di un ponte (il ponte di Madrisio) classificato di tipo 1 per la vicinanza delle pile, le cui luci sono ampie non più di 22 metri e dunque ostruibili da tronchi d'albero fluitanti di lunghezza superiore (secondo Bertoldi *et al.* (2011) ci si può aspettare il transito di tronchi fino circa ai 25 metri di lunghezza).

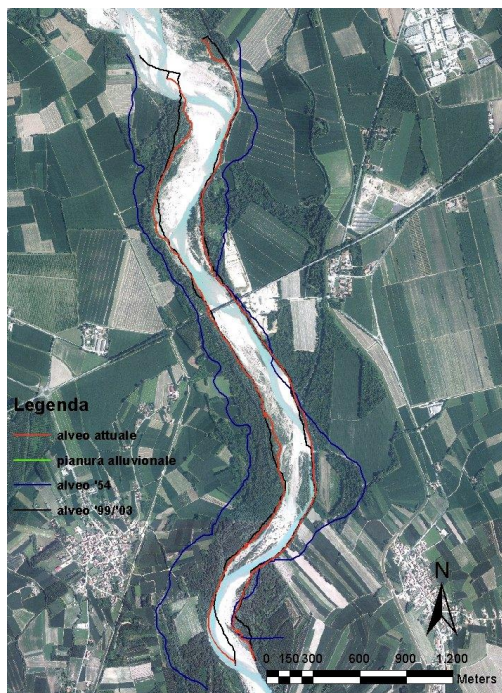


Fig. 44: foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura alluvionale



Fig. 45: sponda composta costituita da una base di ghiaie sovrastata da un ingente spessore di limi e argille

Tratto 51 – Fiume Tagliamento, Latisanotta

l(m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	punteggio IDM	classe IDM	CDE
3908	bassa pianura	non confinato	meandriforme	-0,12	0,66	media/elevata	elevata

Tab. 22: caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; l: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media

IDM

Il tratto evidenzia un'intensa dinamica planimetrica caratterizzata da ingenti arretramenti di sponda nell'ultima decade (M4) e da forti variazioni di larghezza media sia nel recente (M5) che nel lungo periodo (V2). Le sponde, in parte erodibili e prive di difese, sono state considerate coesive data la predominanza di limi e argille e, non permettendo l'identificazione delle ghiaie necessarie al calcolo dei dislivelli per le tendenze altimetriche (M6 e V3) si è ricorsi ai dati sviluppati tramite rilievo topografico da Ziliani e Surian (2012). Per l'incertezza legata alla risposta per l'indicatore M6 la classe IDM oscilla tra classe media e elevata.

CDE

La CDE elevata risente dell'alta probabilità che si verifichino tagli di meandro: il tratto, caratterizzato da indice di sinuosità molto elevato, si sviluppa lungo due meandri molto pronunciati; a livello del secondo, dove il taglio si è già verificato in passato in vicinanza dell'abitato di Pozzi, una scogliera in massi obbliga le acque del fiume a seguire il vecchio tracciato, anche se potenzialmente un evento alluvionale intenso potrebbe danneggiare la difesa e consolidare il nuovo tracciato fluviale. La prima ansa formata dal fiume nel suo sviluppo planimetrico invece non è ancora stata interessata dal fenomeno di taglio ma potrebbe esserlo nel futuro prossimo se la sponda sinistra, sottoposta a erosione, non viene consolidata con opere di difesa.

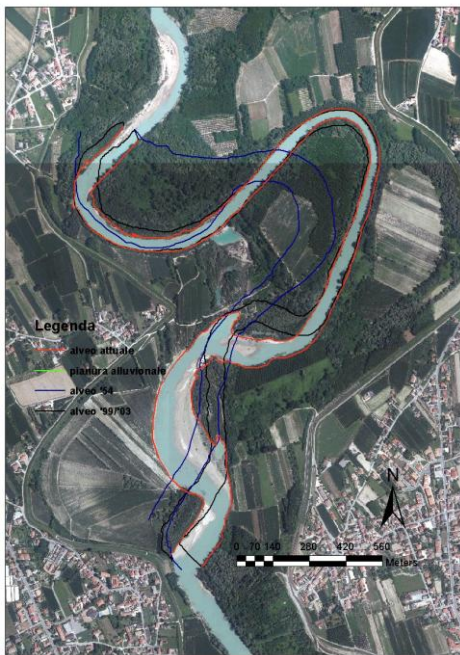


Fig. 46: foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura alluvionale



Fig. 47: scogliera realizzata a difesa del retrostante taglio di meandro



Fig. 48: lago formatosi lungo il taglio di meandro mantenuto inattivo dalla difesa spondale

Tratto 54 – Fiume Tagliamento, Cesarolo

l (m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	punteggio IDM	classe IDM	CDE
5091	bassa pianura	non confinato	meandriforme	0,00	0,51	media	elevata

Tab. 23: caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; l: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media
IDM

Il tratto presso Cesarolo si sviluppa con due estesi meandri che gli permettono l'attribuzione dell'omonima morfologia. Si tratta, assieme al tratto subito seguente, del tratto più lungo studiato con lunghezza complessiva di poco superiore ai 5 km. Nel

complesso, le dinamiche morfologiche nel tratto risultano basse per quanto riguarda arretramento delle sponde (M4) e variazioni di larghezza (M5, V2): si può affermare che dal '54 ad oggi le sponde non hanno cambiato posizione, il che significa che vengono periodicamente sistemate (resta il dubbio se siano presenti delle difese in massi al di sotto delle argille lungo le sponde). Non è stato possibile calcolare gli indicatori M6 e V3 relativi alle tendenze altimetriche del fondo per l'impossibilità di applicazione dei metodi investigativi utilizzati sul campo e per la mancanza di dati esterni. La limitata presenza di difese spondali e la mancanza di opere al fondo (A1, A2) compensa il risultato finale per l'IDM, che rientra in classe media.

CDE

La CDE risulta elevata in virtù dell'elevata erodibilità dell'alveo; non si è considerata alta la probabilità circa il verificarsi di tagli di meandro data la presenza di scogliere in massi a protezione delle sponde in arretramento e la presenza di argini a protezione dei meandri.



Fig. 49: foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura alluvionale



Fig. 50: sponda coesiva, ossia costituita da limo e argilla, sulla riva opposta del tratto

Tratto 55 – Fiume Tagliamento, Gorgo

I (m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	punteggio IDM	classe IDM	CDE
5235	bassa pianura	non confinato	sinuoso	0,00	0,54	media	elevata

Tab. 24: caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; I: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media

IDM

Il tratto è per caratteristiche in tutto simile a quello precedentemente descritto, differendo unicamente nella sinuosità del tracciato planimetrico, molto inferiore rispetto a quella del tratto meandriforme presso Cesarolo. Anche per questo tratto non è stato possibile calcolare le tendenze altimetriche (M6, V3), i cui indicatori sono quindi stati omessi dal calcolo del punteggio finale. La classe IDM è media per le stesse caratteristiche investigate nel tratto a monte.

CDE

Come per il tratto presso Cesarolo, la CDE è elevata per l'alta erodibilità del fondo prevedibile durante un evento di piena.



Fig. 51: foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura alluvionale



Fig. 52: panoramica sul tratto che evidenzia la presenza dell'argine a diretto contatto con l'alveo

Tratto 60 – Fiume Fella, Ugovizza

l (m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	punteggio IDM	classe IDM	CDE
1469	montano	non confinato	letto piano	1,46	0,47	bassa	elevata

Tab. 25: caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; l: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media

IDM

Quello presso Ugovizza è l'unico tratto cui si è attribuita una classe IDM bassa. Al tratto, caratterizzato da una larghezza media inferiore ai 20 metri, non sono stati applicati gli indicatori M5, V1, V2, V3 applicabili solo su alvei di larghezza superiore ai 30 metri. La morfologia del tratto è determinata dalla sua pendenza media e dalle forme del fondo e, non essendo contemplata tra le tipologie d'alveo analizzate in M1, si è deciso di assegnare a tale indicatore un valore medio una volta valutate le condizioni energetiche e di trasporto solido nel tratto. La presenza continua di scogliere in massi a completa difesa delle sponde non consente al corso d'acqua mobilità laterale, per cui gli indicatori legati a questi aspetti hanno restituito un punteggio molto basso (M2, M4, A1). La presenza di due briglie di consolidamento del fondo abbassano leggermente il punteggio anche per l'indicatore A2. La variazione altimetrica del fondo (M6) è stata invece considerata intensa nel recente, dato il dislivello tra barre e piana superiore ai 50 cm.

CDE

La larghezza limitata dell'alveo e gli attraversamenti presenti (classificati come ponti di tipo 1) determinano un forte rischio di occlusione causabile dal materiale legnoso fluitato durante eventi di piena. Per questo motivo, nonostante l'instabilità plano-altimetrica e l'erosività di alveo e sponde medio-basse, il tratto è stato classificato con dinamica elevata.



Fig. 53: ponte dell'autostrada A23 sul fiume, classificato come ponte di tipo 1



Fig. 54: tratto rettificato dell'alveo in località Ugovizza, le difese spondali sono nascoste nella vegetazione riparia

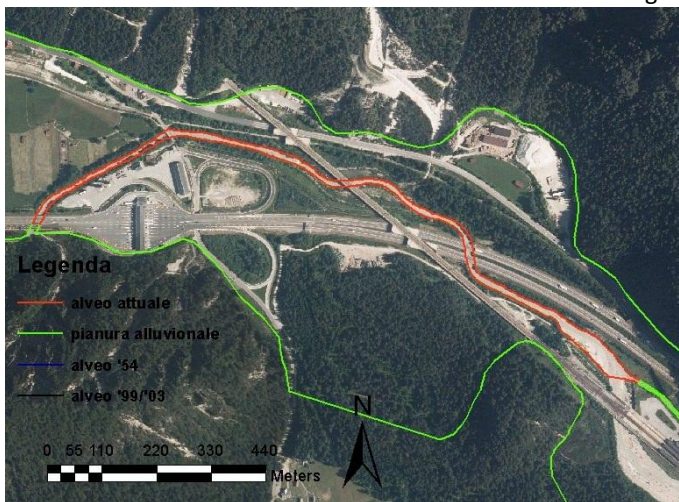


Fig. 55 : foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura alluvionale

Tratto 64 – Fiume Fella, Santa Caterina

l (m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	punteggio IDM	classe IDM	CDE
2125	montano	non confinato	transizionale wandering	1,68	0,77	elevata	molto elevata

Tab. 26: caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; l: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media

IDM

Il tratto è caratterizzato da una dinamica morfologica elevata, determinata dalla elevata instabilità plano-altimetrica nel recente (M4, M5, M6) e negli ultimi 60 anni (V1, V2, V3).

Le scogliere in massi a difesa delle sponde e la presenza di una briglia di consolidamento permettono di attribuire agli indicatori A1 e A2 valori intermedi non sufficienti però a mitigare il giudizio finale per l'IDM. Il tratto mostra una marcata tendenza all'allargamento sia nel breve che nel lungo periodo (M5, V2), con un aumento di larghezza superiore al 150% dagli anni '50 a oggi: questa tendenza, valida anche per il tratto di San Leopoldo di Pontebba, risulta in contrasto con la tendenza media osservata negli altri tratti di Tagliamento e Fella in cui si osserva un generale restringimento dell'alveo nel lungo periodo. Per il tratto si è supposta anche una variazione morfologica (V1) tra classi contigue (da canale singolo a transazionale wandering), non accertabile per la bassa definizione delle foto aeree del '54 ma desunta dalla forte variazione di larghezza testé descritta. L'incertezza legata alla risposta all'indicatore V1 non comporta ad ogni modo variazioni nella classe IDM desunta. Le tendenze altimetriche del fondo per il breve e lungo periodo (M6, V3) testimoniano una generale incisione stimata in circa 0,5 m per M6 e poco più di 1,5 m per V3.

CDE

Al tratto è stata attribuita CDE molto elevata data la vicinanza dei versanti e la loro propensione al dissesto, che aggrava la pericolosità lungo il tratto con la possibilità del verificarsi di frane e fenomeni di trasporto in massa in grado di alterare significativamente le geometrie dell'alveo e le sue caratteristiche di trasporto di sedimenti. La presenza di un ponte (il ponte vecchio del paese di Santa Caterina) classificato di tipo 1 per la ristrettezza delle luci tra le pile in alveo (circa 12 metri di larghezza) funge da conferma all'elevata pericolosità morfologica lungo il tratto.



Fig. 56: erosione lungo i versanti ne testimoniano la propensione al verificarsi di fenomeni gravitativi



Fig. 57: argini di sedimenti formati per eventi di *debris flow*

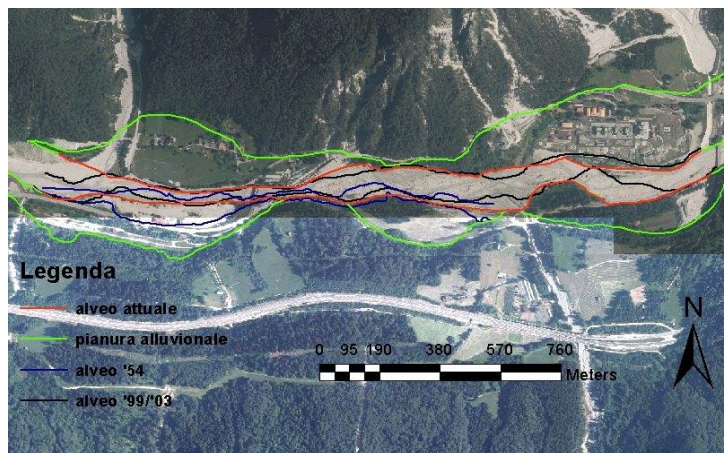


Fig. 58: foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura alluvionale

Tratto 68 – Fiume Fella, San Leopoldo

l (m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	punteggio IDM	classe IDM	CDE
1656	montano	semiconfinato	transizionale wandering	2,11	0,65	media	molto elevata

Tab. 27: caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; l: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media

IDM

Il tratto, caratterizzato da sponde in parte difese con scogliere in massi (A1), è costituito da sponde non coesive, spesso composite, ed è soggetto ad una moderata tendenza morfologica all'allargamento dell'alveo (M5, V2) e all'incisione (M6, V3), stimata in circa 25 cm nel breve periodo e superiore al metro e mezzo nel lungo. Non si è supposta una variazione morfologica rispetto agli anni '50 (V1) essendo visibili da foto aerea del volo IGM GAI '54 isole fluviali che suggeriscono la presenza di più canali nell'alveo in alcuni punti del tratto (un ipotetico cambiamento di morfologia non farebbe ad ogni modo variare la classe IDM). L'individuazione su campo di terrazzi antichi caratterizzati da un

dislivello minimo di 6 metri ha consentito di ridefinire il margine della pianura digitalizzata in fase di elaborazione GIS.

CDE

La CDE molto elevata, come per il tratto precedentemente descritto, si deve all'instabilità dei versanti lungo questo tratto, sui quali sono evidenti cicatrici provocate da frane e distacchi recenti e piccoli affluenti per i quali pendenza e materiale solido disponibile possono decretare modalità di trasporto in massa dei sedimenti. Il vecchio ponte di San Leopoldo, classificato come ponte di tipo 1 a causa della breve distanza tra pile in alveo, determina una consistente probabilità di verificarsi di occlusioni dovute al materiale fluitato durante eventi di piena.

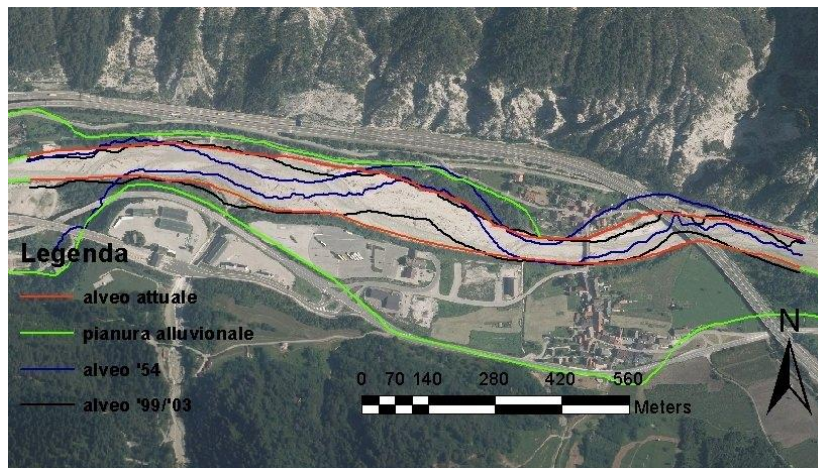


Fig. 59: foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura alluvionale



Fig. 60: la vicinanza dei versanti determina una dinamica elevata per la CDE

Tratto 73 – Fiume Fella, Pietratagliata

l (m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	punteggio IDM	classe IDM	CDE
1285	montano	confinato	canale singolo alveo f m	2,13	\	\	molto elevata

Tab. 28: caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; l: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media; f. m.: fondo mobile

CDE

La CDE nel tratto risulta molto elevata in virtù dell'instabilità geologica dei versanti acclivi, che possono causare, con mobilitazioni in massa di materiale dai versanti, ostruzioni nello stretto alveo confinato.



Fig. 61: foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura alluvionale



Fig. 62: parte bassa del tratto, compresa tra versanti acclivi e prossimi all'alveo

Tratto 79 – Fiume Fella, Chiusaforte

l (m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	punteggio IDM	classe IDM	CDE
1920	montano	semiconfinato	canali intrecciati	1,09	0,59	media	elevata

Tab. 29: caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; l: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media

IDM

La raccolta dati è stata complicata dal difficile accesso al tratto nella fase di rilievo: la presenza del versante a contatto in sinistra idrografica e l'autostrada realizzata sul margine destro hanno consentito l'accesso solamente alla parte più alta del tratto, rendendo quindi la raccolta dati lacunosa; non è stato di fatto possibile ottenere alcun dato utile all'elaborazione degli indicatori riguardanti le tendenze altimetriche del fondo (M6, V3). La presenza di versanti a contatto e dell'autostrada (con le difese di sponda realizzate in cemento) che fiancheggia il tratto per quasi tutta la sua lunghezza hanno determinato l'immobilità planimetrica del tratto nel recente periodo (M4, M5), mentre nel '54, prima che venisse realizzata l'autostrada, la sua larghezza era decisamente superiore rispetto ad oggi (V2 elevato). L'IDM che ne risulta si traduce in una classe di media dinamica morfologica.

CDE

A definizione della classe elevata per la dinamica da evento l'alta erodibilità dell'alveo e, soprattutto, la tendenza altimetrica alla sedimentazione attesa per l'alveo in caso di evento intenso, causata dall'aumento di sezione rispetto al tratto situato a monte (fattore che influenza la potenza unitaria della corrente, che quindi diminuisce) e dalla presenza di estese aree sorgenti di sedimento connesse al tratto tramite affluenti ad accentuata pendenza.

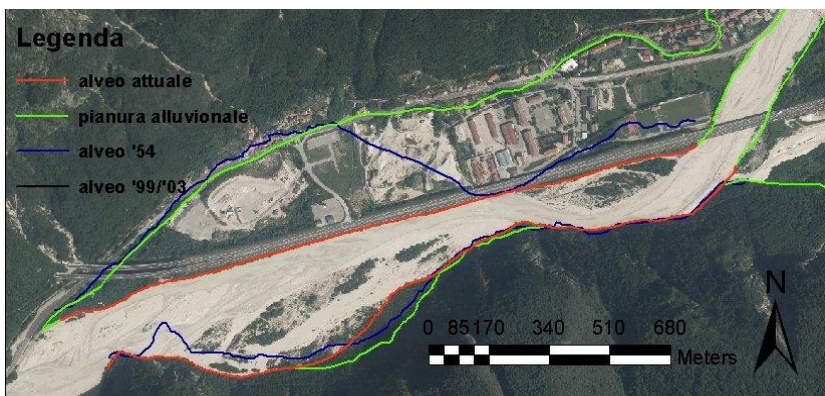


Fig. 63: foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura alluvionale



Fig. 64: l'autostrada A23 fiancheggia e confina l'alveo presso Chiusaforte

Tratto 84 – Fiume Fella, Moggio Udinese

l (m)	a. f.	confinamento	morfologia	S (%)	punteggio IDM	classe IDM	CDE
2551	montano	semiconfinato	sinuoso barre alternate	0,69	0,65	media	elevata

Tab. 30: caratteristiche generali e valutazione della dinamica morfologica (IDM e CDE) per il tratto; l: lunghezza; a. f.: ambito fisiografico; S: pendenza media

IDM

Il tratto ha inizio presso il ponte di Moggio Udinese e termina poco oltre la confluenza in destra idrografica con il torrente Glagno. Dal punto di vista planimetrico (M4, M5, V2) il tratto presenta un arretramento spondale e una variazione di larghezza nel recente medio-basse, mentre rispetto agli anni '50 la larghezza si è drasticamente ridotta soprattutto nella parte alta del tratto. Data la presenza di una vasta isola nell'alveo del '54 si è supposto che in passato la morfologia del tratto fosse wandering o addirittura a canali intrecciati, e che questa morfologia con la riduzione di larghezza sia evoluta in sinuosa a barre alternate (V1). L'incertezza nel definire con certezza tale indicatore non ha determinato un possibile cambiamento di classe di dinamica morfologica. Le tendenze altimetriche dell'alveo (M6, V3) si risolvono in un'evidente sedimentazione nel periodo recente, testimoniata dal dislivello medio tra piana e barre che si attesta sui -20

cm, e con una moderata incisione dell'alveo nel lungo periodo, con un dislivello medio rispetto ai terrazzi recenti di circa 2 metri. Una briglia posta immediatamente a valle del ponte di Moggio Udinese abbassa leggermente il valore dell'indice A2 relativo alla presenza di opere al fondo. La classe IDM risulta media.

CDE

La CDE elevata è determinata prevalentemente dall'alta erodibilità del fondo dell'alveo e dalla tendenza altimetrica alla sedimentazione prevista per la mole di aree sorgenti di sedimento messe in connessione con il tratto grazie ai torrenti Aupa e Resia, caratterizzati da pendenze medio-alte e da sezioni ridotte (elevata potenza unitaria della corrente).

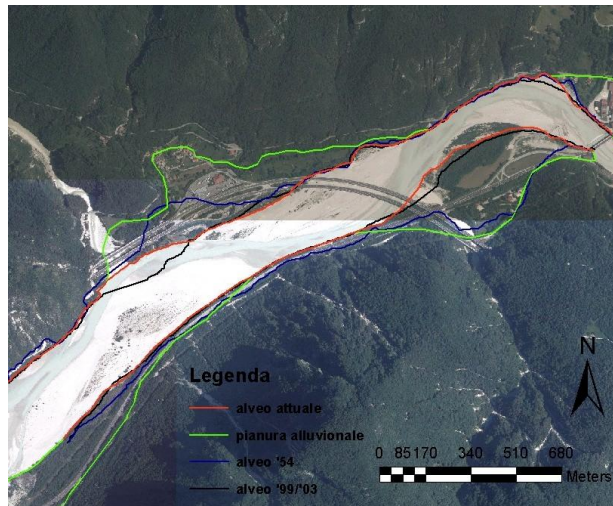


Fig. 65: foto aerea del tratto nella quale sono riportati limiti di alveo attuale, alveo del '54, alveo del '99/'03 e pianura alluvionale



Fig. 66: alveo nella parte centrale del tratto; si può notare la ridotta quota della piana rispetto alle barre, a quota maggiore

8. DISCUSSIONE

La discussione ai risultati ottenuti ed esposti nel precedente capitolo vuole qui essere suddivisa nei seguenti paragrafi:

1. considerazioni generali sulle classi IDM e CDE ottenute per i tratti; individuazione dei fattori che più hanno influito sulla determinazione delle classi; tendenze generali osservate lungo il corso d'acqua e dati discordanti rispetto alla generalità; confronto tra IDM e CDE
2. problematiche riscontrate nell'applicazione: individuazione di punti deboli e limiti di applicabilità degli indici
3. confronto delle classi ottenute con la zonazione PAI (Piano per l'Assetto Idrogeologico), valutazione di somiglianze e differenze tra i due approcci di analisi della pericolosità fluviale e conseguente valutazione circa l'integrabilità dei due differenti metodi

8.1. Considerazioni sui risultati ottenuti

Le classi ottenute per IDM e CDE non sono rappresentate dall'intera gamma di classi disponibili per la valutazione (rispettivamente molto bassa, bassa, media, elevata e molto elevata per l'IDM e bassa, intermedia, elevata, molto elevata per la CDE). L'indice IDM ha restituito solamente le classi media e elevata, con un unico caso di bassa dinamica morfologica riscontrata per il tratto presso Ugovizza lungo il fiume Fella, dovuto al fatto che il tratto è caratterizzato da una dinamica laterale bassissima (come testimonia il sub-indice di dinamica laterale pari a 0,08) a causa delle difese presenti. Dei 16 tratti restanti solo 4 sono risultati con IDM elevato, ossia i tratti di Villa Santina, Cornino, Valvasone e Santa Caterina; potrebbero essere inoltre considerati tendenti alla dinamica elevata i tratti di Madrisio e Latisanotta, il cui punteggio IDM oscilla tra 0,66 e 0,70 a causa dell'incertezza legata alla determinazione dell'indicatore M6 di tendenza altimetrica dell'alveo nel recente.

Fiume	Località	tratto	valori IDM	classi IDM
Tagliamento	Forni di sopra	3	0,58	media
Tagliamento	Villa santina	17	0,71	elevata
Tagliamento	Tolmezzo	21	0,55	media
Tagliamento	Amaro	24	0,60	media
Tagliamento	Bordano	28	0,60	media
Tagliamento	Cornino	34	0,76	elevata
Tagliamento	Gaio	38	0,65	media
Tagliamento	Valvasone	43	0,84	elevata
Tagliamento	Madrisio	48	0,66	media/elevata
Tagliamento	Latisanotta	51	0,66	media/elevata
Tagliamento	Cesarolo	54	0,51	media
Tagliamento	Gorgo	55	0,54	media
Fella	Ugovizza	60	0,47	bassa
Fella	Santa Caterina	64	0,77	elevata
Fella	San Leopoldo	68	0,65	media
Fella	Chiusaforte	79	0,59	media
Fella	Moggio Udinese	84	0,63	media

Tab. 31: valori e classi IDM ottenuti per i 17 tratti

I tratti con IDM elevata o medio/elevata sembrano invece concentrarsi maggiormente lungo l'alveo compreso tra Pinzano e Ronchis, identificabile come medio Tagliamento (Ziliani, 2011). L'IDM per il tratto di Gaio di

Spilimbergo,

appartenente al segmento idrografico di alta pianura, ha un valore, oscillante tra 0,65 e 0,68, che molto si avvicina alla soglia tra classe media ed elevata pari a 0,70. Se ne può dedurre, come tendenza generale, che i tratti di alta pianura sono portati ad avere un'elevata dinamica morfologica e, in particolare, un'intensa dinamica laterale testimoniata dal sub-indice di dinamica laterale (SDL) caratterizzato da valori elevati compresi tra 0,40 e 0,50 (con la sola eccezione del SDL per il tratto di Gaio, pari a 0,39 ma comunque sensibilmente più alto rispetto ai valori ottenuti lungo gli altri tratti) e moderatamente elevate variazioni morfologiche (sub-indici di variazione morfologica IDMv prossimi a 0,08), oltre che moderate o assenti opere di difesa. Tra questi tratti si può far rientrare anche quello di Cornino, non facente parte del segmento di alta pianura trovandosi pochi chilometri a monte della stretta di Pinzano (che segna il limite tra unità fisiografica prealpina e d'alta pianura) ma associabile per caratteristiche morfologiche e per somiglianze nelle tendenze evolutive ai tratti del medio Tagliamento. Per motivare la propensione dei tratti di alta pianura all'elevata classe IDM si possono avanzare delle considerazioni circa la generale tendenza al restringimento dell'alveo anche molto intenso nel lungo periodo (Ziliani, Surian, 2012), che ha determinato il formarsi di fasce perifluviali estese e, per il moderato dislivello rispetto all'alveo (incisione), spesso soggette alle esondazioni del fiume, fattore che ne determina usi agricoli o l'inutilizzabilità da parte dell'uomo (boschi ripariali), che quindi è intervenuto poco sulla difesa dell'alveo che ha mantenuto delle condizioni soddisfacenti di seminaturalità. Meno frequentemente invece si verifica che le superfici disattivate in ambito intravallivo non vengano utilizzate e difese, data la poca disponibilità di porzioni

di pianura in ambito montano. Ecco quindi che la morfologia a canali intrecciati dei tratti d'alta pianura unitamente a quanto detto determina un IDM elevato per questi tratti. Tra i tratti in classe elevata, oltre a quelli testé menzionati appartenenti o prossimi all'unità di alta pianura, ce ne sono due appartenenti al bacino montano, il tratto di Villa Santina per il fiume Tagliamento e quello di Santa Caterina per il Fella caratterizzati entrambi da forte dinamica laterale (sub-indici di dinamica laterale pari a 0,43 e 0,46) e da bassa artificialità il primo e elevate variazioni morfologiche il secondo. In particolare, per i due tratti, distanti pochi chilometri l'uno dall'altro, di Santa Caterina e San Leopoldo, si denota un'elevata tendenza all'allargamento dell'alveo, rispettivamente del 173% e del 56%, rispetto a quella misurata per gli anni '50. Le elevate percentuali si possono spiegare con l'originale ristrettezza dell'alveo che determina un elevato rapporto tra variazione e larghezza passata, mentre la tendenza all'allargamento, contraria rispetto al generale restringimento osservato lungo il Tagliamento nel lungo periodo, può essere imputata in gran parte all'evento alluvionale che ha interessato la val Canale-Canal del Ferro nel 2003, caratterizzato da intensi processi di sedimentazione, soprattutto negli affluenti del Fella, e di erosione spondale. Ad esempio è stato stimato in circa 80000 m³ la quantità di sedimenti trasportata sotto forma di colata detritica dal solo rio Cucco, affluente del Fella presso Malborghetto (Marchi *et al.*, 2009). A supporto di quest'ipotesi si riporta la comparazione di foto aeree del 1999 e del 2003 post evento, che mostrano una forte variazione di larghezza dell'alveo avvenuta nell'arco di 4 anni (figg. 67a, 67b).



Figg. 67a, 67b: tratto del Fella presso Santa Caterina (Malborghetto) in foto aerea del '99 (sopra) e in ortofoto del '03 (sotto), in evidenza in quest'ultima il forte apporto di sedimenti e l'aumento di larghezza dell'alveo

Riguardo alle tendenze generalizzate lungo Tagliamento e Fella individuate tramite gli indicatori applicati per la determinazione dell'IDM, si possono osservare una generale tendenza alla diminuzione di larghezza e all'incisione nel lungo periodo (V2, V3) e un aumento di larghezza nel breve (M5); queste propensioni dei corsi d'acqua vedono tra le possibili cause alle tendenze plano-altimetriche del Tagliamento nel lungo periodo la presenza, all'inizio del secolo scorso, di pennelli che hanno determinato la fase iniziale di restringimento e di una forte attività estrattiva (nella seconda metà del XX secolo) che sembra essere strettamente correlata a restringimento e incisione dell'alveo (Ziliani e Surian, 2012). Per l'alto Tagliamento si ritiene che tali dinamiche siano legate anche all'aumento dal 1828 ad oggi della copertura boschiva che raggiunge attualmente percentuali superiori al 70% a netto discapito delle aree dedicate al pascolo o lasciate

Fiume	Località	Tratto	SEI
Tagliamento	Forni di sopra	3	-0,25
Tagliamento	Tolmezzo	21	0,06
Tagliamento	Amaro	24	-0,25
Tagliamento	Bordano	28	0,44
Tagliamento	Cornino	34	0,19
Tagliamento	Gaio	38	0,19
Tagliamento	Valvasone	43	0,25
Tagliamento	Madrisio	48	0,13
Tagliamento	Latisanotta	51	-0,19
Fella	Santa Caterina	64	-0,88
Fella	San Leopoldo	68	-0,63
Fella	Moggio Udinese	84	0,38

Tab. 32: valori ottenuti per il sub-indice di esondazione indotta (SEI) lungo i 12 tratti per i quali è stato calcolato

incolte (Ziliani, 2011; Barbina, 1992). La tendenza all'allargamento dell'alveo osservata a partire dagli anni '90 del XX secolo viene interpretata come una fase di stabilizzazione del corso d'acqua, per il quale un eccesso di potenza unitaria, andata aumentando con il restringimento dell'alveo (la pendenza dell'alveo non ha subito variazioni significative),

determina la nuova fase di espansione dell'alveo (Ziliani e Surian, 2012).

Altro dato degno di nota è quello riguardante il sub-indice di esondazione indotta (SEI) dalla dinamica morfologica, volto ad identificare un aumento del rischio di esondazione provocata dalle dinamiche laterale e verticale dell'alveo; i tratti caratterizzati da un SEI maggiore sono quelli di Bordano (0,44), Valvasone (0,25) e Moggio Udinese (0,38). Si noti, a tal proposito, che due di questi sono caratterizzati da IDM media: difatti, l'IDM non è una diretta misura del rischio alluvionale, valutabile tramite analisi idrauliche, ma tiene piuttosto conto di tutte le dinamiche morfologiche legate al contesto fluviale. Non necessariamente ad un'elevata dinamica morfologica è associata un'elevata probabilità di esondazione.

Fiume	Località	Tratto	CDE
Tagliamento	Forni di Sopra	3	molto elevata
Tagliamento	Ampezzo	9	elevata
Tagliamento	Socchieve	12	molto elevata
Tagliamento	Villa Santina	17	elevata
Tagliamento	Tolmezzo	21	elevata
Tagliamento	Amaro	24	elevata
Tagliamento	Bordano	28	elevata
Tagliamento	Cornino	34	elevata
Tagliamento	Gaio	38	elevata
Tagliamento	Valvasone	43	elevata
Tagliamento	Madrisio	48	elevata
Tagliamento	Latisanotta	51	elevata
Tagliamento	Cesarolo	54	elevata
Tagliamento	Gorgo	55	elevata
Fella	Ugovizza	60	elevata
Fella	Santa Caterina	64	molto elevata
Fella	San Leopoldo	68	molto elevata
Fella	Pietratagliata	73	molto elevata
Fella	Chiusaforte	79	elevata
Fella	Moggio Udinese	84	elevata

Tab. 33: classi CDE determinate per i 20 tratti in esame

Le classi ottenute con l'applicazione degli indicatori relativi alla CDE sono solamente due, ossia elevata e molto elevata. In particolare, i tratti caratterizzati da una CDE molto elevata sono 5, ossia quelli di Forni di Sopra, Socchieve, Santa Caterina, San Leopoldo e Pietratagliata. I restanti 15 tratti hanno ottenuta classe CDE elevata.

I tratti di Tagliamento e Fella caratterizzati da classe molto elevata sono tutti ubicati lungo

il segmento fisiografico alpino: il manuale IDRAIM stesso non prevede la possibilità di attribuire tale classe a tratti di pianura. La classe per 4 dei 5 tratti è determinata dall'instabilità dei versanti adiacenti, mentre per il tratto di Forni di Sopra la classe molto elevata è stata determinata unitamente dalla possibilità circa il verificarsi di trasporto di sedimenti sotto forma di piene detritiche e dalla presenza di ponti classificati di tipo 1.

Sia IDM che CDE hanno restituito per i tratti una ristretta gamma di classi, rispettivamente media/elevata (con un unico caso di bassa dinamica) ed elevata/molto elevata. I motivi legati all'assenza delle classi più basse sono principalmente individuabili nella scarsità delle opere di difesa delle sponde e, soprattutto, del fondo dell'alveo, localmente abbassati dalla presenza di briglie al fondo; la mancanza di opere di rivestimento del fondo, in grado di determinare una difesa continua dell'alveo, determina valori molto elevati per gli indicatori M3 (erodibilità del fondo) e A2 (presenza di opere al fondo), che con il loro punteggio influiscono molto sul punteggio finale IDM. Allo stesso modo, le CDE elevate sono spesso determinate dall'erodibilità dell'alveo che, non essendo mai soggetto a difese continue, risulta sempre altamente erodibile. In definitiva, è molto difficile che tratti non soggetti a massicce difese del fondo ottengano IDM bassa/molto bassa o CDE media/bassa. Tale risultato era, ad ogni modo, in parte atteso, essendo i fiumi Tagliamento e Fella per caratteristiche idrologiche e

Fiume	Località	Tratto	IDM	CDE
Tagliamento	Forni di Sopra	3	media	molto elevata
Tagliamento	Ampezzo	9	\	elevata
Tagliamento	Socchieve	12	\	molto elevata
Tagliamento	Villa Santina	17	elevata	elevata
Tagliamento	Tolmezzo	21	media	elevata
Tagliamento	Amaro	24	media	elevata
Tagliamento	Bordano	28	media	elevata
Tagliamento	Cornino	34	elevata	elevata
Tagliamento	Gaio	38	media	elevata
Tagliamento	Valvasone	43	elevata	elevata
Tagliamento	Madrisio	48	media/elevata	elevata
Tagliamento	Latisanotta	51	media/elevata	elevata
Tagliamento	Cesarolo	54	media	elevata
Tagliamento	Gorgo	55	media	elevata
Fella	Ugovizza	60	bassa	elevata
Fella	Santa Caterina	64	elevata	molto elevata
Fella	San Leopoldo	68	media	molto elevata
Fella	Pietratagliata	73	\	molto elevata
Fella	Chiusaforte	79	media	elevata
Fella	Moggio Udinese	84	media	elevata

Tab. 34: classi IDM e CDE determinate per i tratti in esame

geomorfologiche e per tendenze pluviometriche nel bacino soggetti ad un'elevata dinamicità, ben diversa da quella riscontrabile in corsi d'acqua o tratti a bassa energia.

Mentre, come tendenza generale, i tratti con indice IDM più alto sono

localizzati lungo il medio Tagliamento, i tratti con CDE maggiore sono situati tutti nel bacino montano del Tagliamento nell'unità fisiografica alpina. La dinamica da evento attesa lungo i tratti montani, difatti, è generalmente superiore a quella prevista nei tratti di pianura caratterizzati da pendenze minori e maggiori larghezze d'alveo. Inoltre, la presenza dei versanti apporta una variabile che manca in ambito di pianura. Per l'IDM invece, come già detto in precedenza, hanno giocato un ruolo fondamentale nell'attribuire una IDM elevata ai tratti d'alta pianura le dinamiche laterali e verticali del corso d'acqua unitamente alla presenza di opere di difesa, fattori determinanti per lo svolgersi delle dinamiche morfologiche alla scala temporale analizzata per l'IDM. La presenza dei versanti, aggravante della pericolosità nelle CDE, ostacolando le dinamiche laterali del corso d'acqua tendenzialmente abbassa i valori per l'IDM.

8.2. Problematiche riscontrate nell'applicazione dell' IDM e della CDE

IDM

Scopo del lavoro condotto è anche determinare limiti di applicabilità e segnalare le difficoltà incontrate nell'elaborazione degli indicatori di IDM e CDE, in quanto approcci di recente sviluppo e fino ad oggi applicati su un limitato campione di corsi d'acqua. A tal proposito, riporto di seguito quelli che ritengo essere aspetti da rivedere e migliorare nella formulazione degli indicatori:

- L'indicatore M1 relativo alla tipologia d'alveo non tiene conto delle morfologie montane. Questo ha rappresentato una difficoltà per la classificazione del tratto di Ugovizza, la cui morfologia a letto piano non è contemplata nella guida alle risposte per la risoluzione dell'indicatore.
- L'indicatore M2 relativo all'erosività delle sponde richiede una valutazione sulla presenza di vegetazione lungo le sponde: ritengo si renda necessario discernere tra vegetazione stabile e vegetazione data da coltivazioni adiacenti all'alveo; in questo caso di studio, un pioppeto limitrofo all'alveo lungo il tratto 51 di Latisanotta non è stato considerato come vegetazione a sostegno della sponda, dato che rappresenta un tipo di vegetazione instabile e fortemente soggetto alle dinamiche umane.

Per quanto riguarda invece i limiti legati ai metodi di analisi utilizzati:

- Gli indicatori M5 e V2 relativi alle tendenze di larghezza dell'alveo sono stati determinati in ambiente GIS. Si sono testate due metodologie, una facente uso, per il calcolo della larghezza media, di transetti perpendicolari all'asse dell'alveo attuale e l'altra determinante la larghezza come rapporto tra area dell'alveo e lunghezza media del tratto; il secondo metodo si è dimostrato più affidabile, in accordo con quanto riportato dal manuale IDRAIM, dato che spesso i transetti non rappresentano fedelmente la sezione ortogonale all'alveo.
- Le metodologie utilizzate per la definizione degli indicatori M6 e V3 riguardanti la dinamica altimetrica dell'alveo spesso si sono dimostrate poco adatte all'applicazione o soggette a un certo grado di incertezza, il che ha determinato l'impossibilità in alcuni casi di attribuire un valore a tali indici, in altri l'incertezza del dato raccolto. Lo stesso si può dire per l'indicatore V1 relativo alle variazioni morfologiche, per il quale spesso è risultato difficile individuare la morfologia da foto aerea del volo IGM GAI '54 per la bassa qualità delle immagini.

CDE

Aspetti di conflitto nella valutazione degli indicatori per le CDE riguardano:

- La classificazione degli attraversamenti per la definizione della probabilità di occlusioni: il manuale IDRAIM determina la classificazione dei ponti in tre

tipologie in base al rischio di occlusione che comportano; il ponte di Madrisio è stato classificato come ponte di tipo 1 in quanto le pile in alveo hanno una distanza (circa 22m) inferiore alla lunghezza attesa per il materiale legnoso fluitato che può arrivare ai 25m (Bertoldi *et al.*, 2011); tuttavia, essendo poco probabile che il materiale arrivi al contatto col ponte con una direzione tale da determinare l'occlusione di una luce ed essendo disponibili sette campate per il deflusso idrico, la classificazione attribuita al ponte sembra attribuirgli una pericolosità maggiore a quella presumibile nel caso del verificarsi di un evento alluvionale; questo è certamente dovuto alla natura dei diagrammi di flusso delle CDE che, diversamente rispetto all'IDM, restituiscono una ristretta gamma di risposte che uniformizzano fortemente i risultati per i singoli indicatori.

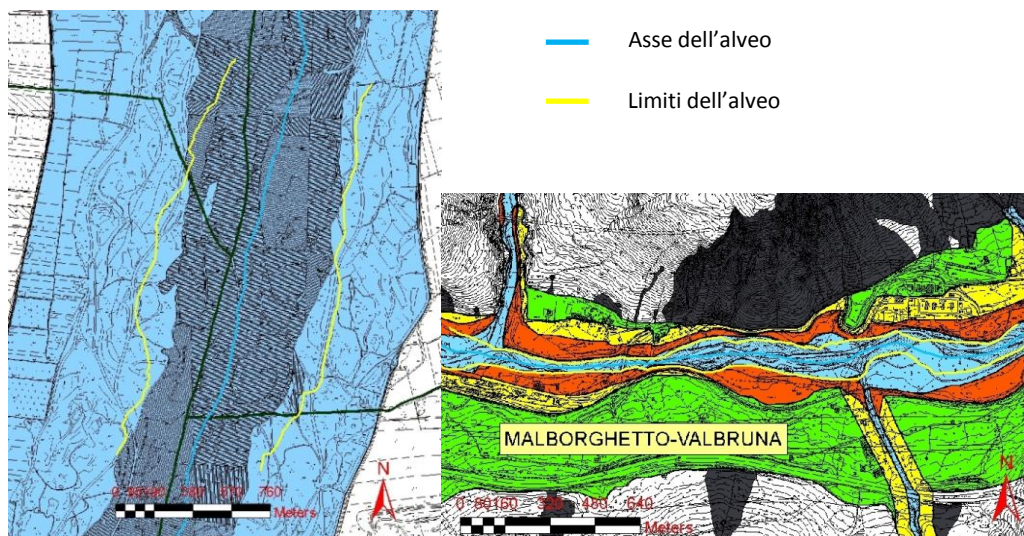
Le difficoltà incontrate nella determinazione delle CDE hanno riguardato:

- per la determinazione della tendenza altimetrica nei tratti, la mancanza dei dati di portata che ha determinato una stima di variazione della potenza della corrente e non il suo calcolo.
- per la stima della probabilità del verificarsi di occlusioni, del tipo di moto del legname fluitato dalla corrente durante il singolo evento: la raccolta del legname presente dell'alveo da parte della popolazione fa sì che non si possa determinare facilmente sul campo il tipo di trasporto, ma che si possa solamente stimare in base alla pendenza del tratto e alla potenza prevista.

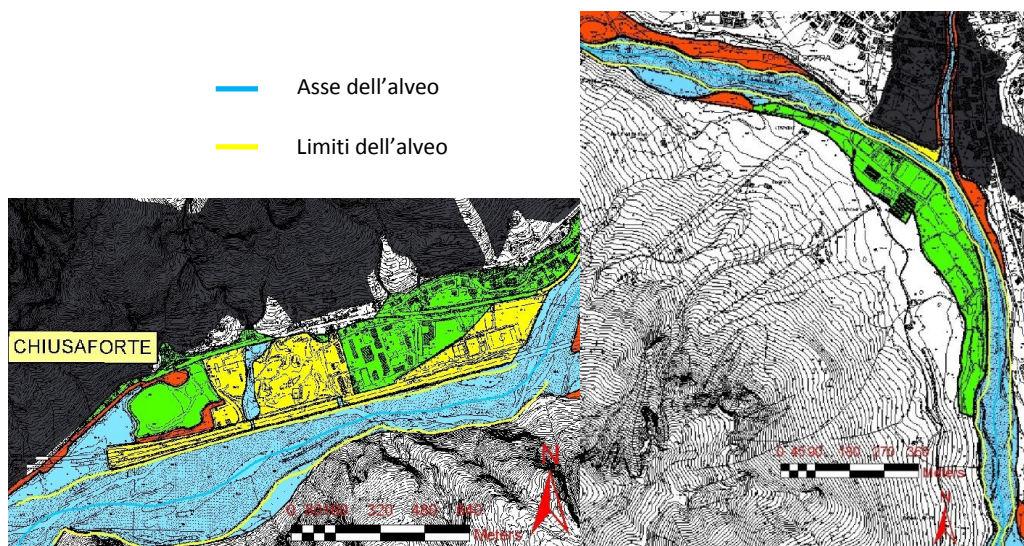
Sia per IDM che per CDE si può inoltre fare un'osservazione relativa alla povertà di classi ottenute in seguito all'elaborazione degli indici; l'IDM, con le sue classi prevalentemente media ed elevata, ha risentito molto nel suo punteggio dell'erodibilità del fondo dell'alveo, mai rivestito lungo i due fiumi, mentre la CDE ottiene molto spesso la classe elevata sempre per l'elevata erodibilità del fondo. Questo dato ha uniformato le classi lungo la maggior parte dei tratti; sicuramente esso assume un'importanza vitale per la determinazione della pericolosità da dinamica morfologica e non va quindi trascurato, ma in questo caso di studio ha probabilmente parzialmente mascherato le differenze di dinamica lungo i due fiumi e, in particolare, ha obliterato le differenze tra i tratti notoriamente ad elevata dinamica morfologica (bacino montano e alta pianura) e quelli a bassa dinamica (bassa pianura), che vengono studiati nello stesso modo dei tratti più energetici.

8.3. Confronto con la zonazione del PAI

Il confronto degli indici studiati in quest'elaborato con le carte prodotte dalle analisi idrauliche del PAI (Piano per l'Assetto Idrogeologico; Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico, 2012) presenta delle difficoltà intrinseche dovute al fatto che IDM e CDE sono valutazioni che riportano un valore unico per il tratto investigato, mentre il PAI fornisce un dato di tipo areale. Il confronto ha quindi principalmente lo scopo di esaminare la possibile integrazione delle informazioni che derivano da queste tipologie di analisi della pericolosità. In particolare il paragone condotto è stato volto ad identificare situazioni in cui le zonazioni PAI, che si suddividono in F (area fluviale), P1 (pericolosità idraulica moderata), P2 (pericolosità media), P3 (pericolosità elevata) e P4 (pericolosità molto elevata), rilevano una bassa condizione di pericolosità idraulica mentre IDM o CDE dimostrano, al contrario, una dinamica morfologica rilevante. Questo si verifica a priori per i tratti confinati: un esempio lampante è dato dal tratto di Pietratagliata, nel quale, in seguito all'evento che ha colpito la val Canale-Canal del Ferro nel 2003, i danni sono stati provocati da fattori legati alla dinamica morfologica e non alle inondazioni che non possono verificarsi in assenza di porzioni di pianura. Per quanto riguarda tratti semiconfinati e non confinati, la tendenza osservata denota una generale concordanza di pericolosità tra IDM/CDE e zonazione PAI, che nei tratti caratterizzati da IDM elevata (Villa Santina, Cornino, Valvasone, Santa Caterina) mostra delle fasce perifluviali ad alta pericolosità idraulica (F e P3) così come per il tratto di San Leopoldo (CDE molto elevata) (figg. 68a, 68b). Casi caratterizzati da dinamica morfologica elevata e più contenuta pericolosità idraulica sono localizzati presso Forni di Sopra per il Tagliamento (IDM media, CDE molto elevata) e Chiusaforte per il Fella (IDM media, CDE elevata), contrassegnati da zonazioni PAI prevalentemente di media-bassa pericolosità (figg. 69a, 69b). Lungo il tratto di Forni di Sopra si ha una differenziazione in aree più vulnerabili ed in altre meno soggette a pericolosità dal punto di vista idraulico, mentre la CDE attribuisce all'intero tratto una dinamica molto elevata: questo certamente dipende dal fatto che, come già detto, il PAI restituisce una mappatura di pericolosità più dettagliata di IDM e CDE all'interno del singolo tratto, ma la discrepanza può dipendere anche dalla possibilità che si verificano piene detritiche nel tratto e che i ponti giochino un ruolo centrale per il verificarsi di occlusioni che esaspererebbero un potenziale evento alluvionale. Il tratto di Chiusaforte sul Fella, allo stesso modo, è contraddistinto



Figg. 68a, 68b: zonazioni del PAI per i tratti di Valvasone sul Tagliamento (a sinistra) e Santa Caterina sul Fella (a destra); fasce PAI: F (area fluviale) in blu, P1 (pericolosità moderata) in verde, P2 (pericolosità media) in giallo, P3 (pericolosità elevata) in arancione (Stralci della Cartografia PAI; Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico, 2012)



Figg. 69a, 69b: zonazioni del PAI per i tratti di Chiusaforte sul Fella (a sinistra) e Forni di Sopra sul Tagliamento (a destra); fasce PAI: F (area fluviale) in blu, P1 (pericolosità moderata) in verde, P2 (pericolosità media) in giallo, P3 (pericolosità elevata) in arancione (Stralci della Cartografia PAI; Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico, 2012)

da fasce PAI a pericolosità basso-moderata, mentre la dinamica morfologica riscontrata risulta medio-elevata; questo dipende prevalentemente dalle tendenze altimetriche dell'alveo, che può essere soggetto a forti dinamiche deposizionali durante un evento intenso: la possibile aggradazione dell'alveo determinerebbe una diminuzione di dislivelli tra alveo e pianura, che renderebbe più vulnerabili aree precedentemente considerate difficilmente raggiungibili dalle acque. A questo proposito è interessante

osservare come gli indicatori di dinamica morfologica prevedano cambiamenti di geometrie e contorno fisico dell'alveo, fattori di cui le modellazioni idrauliche devono necessariamente tenere conto per definire l'inondabilità di una superficie. A tale proposito IDM e CDE possono concentrare l'attenzione su tratti fortemente soggetti a variazioni morfologiche e, quindi, a variazioni del comportamento idraulico nel corso di eventi di piena.

9. CONCLUSIONI

L'applicazione di IDM e CDE lungo 20 tratti dei fiumi Tagliamento e Fella ha messo in luce tendenze di dinamica plano-altimetrica generalizzate lungo i due fiumi quali la propensione al restringimento e alla moderata incisione dell'alveo nel lungo periodo (ultimi 60 anni) e un aumento di larghezza nel breve periodo (ultimi 10-15 anni), indotti prevalentemente da interventi antropici (in particolare difese spondali e attività estrattiva in alveo). Ciò conferma nella sostanza quanto osservato da Ziliani e Surian (2012) nel corso di pianura a valle di Pinzano. Controtendenze osservate lungo il fiume Fella mostrano un deciso allargamento dell'alveo imputabile soprattutto all'evento alluvionale del 2003, per il quale si è osservata una intensa erosione spondale e un forte apporto di sedimenti lungo l'alveo.

I due indici studiati nell'elaborato hanno restituito una ristretta gamma di valori, incentrati sulle classi media e elevata per l'IDM (con un unico caso di classe di dinamica bassa) e elevata e molto elevata per la CDE. La concentrazione dei tratti caratterizzati da IDM elevata nel medio Tagliamento è giustificabile con le intense variazioni morfologiche che hanno portato al formarsi di una piana inondabile non occupabile dall'uomo per la sua pericolosità idraulica (Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico, 2012) e, dunque, poco soggetta ad opere di difesa e sottoposta a dinamiche morfologiche indotte dal fiume, che in alta pianura è caratterizzato da una morfologia a canali intrecciati. La CDE molto elevata si riscontra, invece, nei tratti alpini di Tagliamento e Fella, dove la presenza di versanti a contatto e di attraversamenti (ponti) determinano per l'alveo, qui decisamente più stretto rispetto ai tratti di alta pianura, una forte probabilità di occlusione durante un evento alluvionale di notevole intensità.

Il fatto che gli indici abbiano riportato un ridotto ventaglio di classi di dinamica morfologica è certamente attribuibile in parte alla natura dei fiumi Tagliamento e Fella, corsi d'acqua nel complesso ad elevata energia e caratterizzati da elevato trasporto solido al fondo, ma la mancanza di classi di bassa dinamica morfologica, soprattutto per il basso corso del Tagliamento, ha evidenziato alcuni limiti nella metodologia. L'uniformità e gli alti valori dei risultati sono principalmente dovuti all'erodibilità del fondo dell'alveo, mai soggetto a rivestimenti continui: tale fattore viene considerato allo stesso modo nei tratti montani e in quelli di pianura, portando ad attribuire a segmenti

del corso d'acqua molto differenti per condizioni energetiche simili condizioni di dinamica morfologica. Nelle CDE inoltre la metodologia di classificazione tramite diagramma di flusso tende ad uniformare e semplificare la valutazione finale, caratteristica che agevola le fasi di raccolta dati e di studio ma che in alcuni casi rischia di non evidenziare in modo adeguato la dinamica di tratti situati in ambienti fisiografici differenti.

Il confronto delle classi ottenute per IDM e CDE con la cartografia del PAI (Piano per l'Assetto Idrogeologico; Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico, 2012) denota una generale concordanza tra pericolosità da dinamica morfologica e pericolosità idraulica. Per i tratti di Forni di Sopra (fiume Tagliamento) e di Chiusaforte (fiume Fella) tuttavia a una ridotta pericolosità idraulica corrisponde un'elevata dinamica morfologica derivante prevalentemente dalle dinamiche verticali dell'alveo e dalla probabilità circa il verificarsi di occlusioni in prossimità di ponti con ridotte luci. Queste circostanze, sebbene si rilevino solamente in due dei tratti esaminati, evidenziano la necessità di valutare la pericolosità di un corso d'acqua non solo attraverso analisi idrauliche (mappatura delle aree inondabili), ma considerando anche la pericolosità derivante dalla dinamica morfologica del corso d'acqua stesso.

Appendice – Scheda di valutazione dell'indice IDM e scheda di valutazione delle tendenze altimetriche

**SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA DINAMICA MORFOLOGICA
DI ALVEI SEMICONFINATI E NON CONFINATI**
Versione 1 - Settembre 2013

GENERALITA'
 Data 22-08-'13 Operatori PALMA MARCO
 Bacino FIUME TAGLIAMENTO Corso d'acqua FIUME TAGLIAMENTO
 Estremità monte DEFINITA DA CONF. E MORFOLOGIA Estremità valle DEFINITA DA CONF. E MORFOLOGIA
 Codice Segmento _____ Codice Tratto 3 Lunghezza tratto (m) 2001
 (FORNI DI SOPRA)

TIPOLOGIA D'ALVEO
 Confinamento SC SC=Semiconfinato, NC=Non Confinato
 Morfologia W R=Rettilineo, S=Sinuoso, M=Meandriforme, SBA= Sinuoso barre alternate.
 W= Wandering, CI= Canali intrecciati, A= Anabranching
 Larghezza media alveo (m) 48

DATI UTILIZZATI
 Immagini (per situazione attuale o tendenze laterali)
 Immagine situazione attuale ORTOFOTO 2011 (nome, anno)
 Immagine ultimi 10-20 anni FOTOAEREE | ORTOFOTO 1999/2003 (nome, anno)
 Eventuali rilievi topografici (per tendenze e variazioni altimetriche)
 Attuale _____ (nome, anno)
 Ultimi 10-20 anni _____ (nome, anno)
 Precedente _____ (nome, anno)

MORFOLOGIA E PROCESSI

		parz.	prog.	conf.
M1	Tipologia d'alveo			
A	Configurazione morfologica associata a condizioni di energia e trasporto al fondo estremamente bassi (rettilinei o sinuosi di pianura costiera, fondo sabbioso, privi di barre)	0		
B	Configurazione morfologica associata a condizioni di bassa energia e trasporto al fondo (sinuosi, meandriiformi o anastomizzati privi di barre)	3		
C	Configurazione morfologica associata a condizioni di media energia e trasporto al fondo (sinuosi o meandriiformi con barre, sinuosi a barre alternate)	6		
D	Configurazione morfologica associata a condizioni di elevata energia e trasporto al fondo (wandering, a canali intrecciati)	10		10

M2 Erodibilità delle sponde

A	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) non coesive ≤10% o coesive ≤33% della lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe)	0		
B	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) non coesive ≤33% o coesive ≤66% della lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe)	2		
C	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) non coesive ≤66% o coesive ≤90% della lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe)	4		
D	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) non coesive ≤90% o coesive >90% della lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe)	6		
E	Presenza di sponde alluvionali erodibili (non protette) non coesive >90% della lunghezza totale sponde (ovvero somma di entrambe)	8		12

Nel caso di sponde prive di copertura vegetale >10% lunghezza totale: passare alla classe superiore
 Nel caso di sponde prive di copertura vegetale >33% lunghezza totale: passare a due classi superiori

parz.: punteggi parziali (cerchiare) prog.: punteggi progressivi livello confidenza tra due classi
 conf: livello di confidenza nella risposta, con M=Medio, B=Basso (Alto è omesso)

M3 Erodibilità del fondo		
A	Presenza di fondo alluvionale erodibile, non protetto da elementi artificiali (rivestimenti, rampe) e/o naturali (affioramenti, corazzamento), per $\leq 10\%$ lunghezza tratto	0
B	Presenza di fondo alluvionale erodibile per 10-33% lunghezza tratto	2
C	Presenza di fondo alluvionale erodibile per 33-66% lunghezza tratto	4
D	Presenza di fondo alluvionale erodibile per 66-90% lunghezza tratto	6
E	Presenza di fondo alluvionale erodibile per $> 90\%$ lunghezza tratto	8
		20

M4 Processi di arretramento delle sponde		
A	Completa assenza di sponde in arretramento	0
B	Sponde in arretramento $\leq 5\%$ lunghezza totale (somma di entrambe) oppure: Sponde in arretramento $\leq 33\%$ con tassi trascurabili	2
C	Sponde in arretramento $\leq 33\%$ lunghezza totale (somma di entrambe) con tassi ≤ 3 m/a oppure: Sponde in arretramento $> 33\%$ con tassi trascurabili	4
D	Sponde in arretramento $\leq 33\%$ lunghezza totale (somma di entrambe) con tassi > 3 m/a oppure: Sponde in arretramento $> 33\%$ con tassi ≤ 3 m/a	6
E	Sponde in arretramento $> 33\%$ lunghezza totale (somma di entrambe) con tassi > 3 m/a	8
		24

M5 Tendenze di larghezza <i>(si applica solo ad alvei con larghezza > 30 m)</i>		
C-	Restringimento $> 25\%$ (alvei a canale singolo o SBA) o $> 15\%$ (alvei CI o W)	8
B-	Restringimento $> 10\%$ (alvei a canale singolo o SBA) o $> 5\%$ (alvei CI o W)	4
A	Variazioni di larghezza $\leq 10\%$ (alvei a canale singolo o SBA) o $\leq 5\%$ (alvei CI o W)	0
B+	Allargamento $> 10\%$ (alvei a canale singolo o SBA) o $> 5\%$ (alvei CI o W)	4
C+	Allargamento $> 25\%$ (alvei a canale singolo o SBA) o $> 15\%$ (alvei CI o W)	8
		24

M6 Tendenze altimetriche		
C-	Incisione: evidenze di incisione largamente prevalenti e diffuse	8
B-	Incisione lieve: evidenze di incisione prevalenti ma non diffuse	4
A	Equilibrio: assenza di prevalenti condizioni di incisione o sedimentazione	0
B+	Sedimentazione lieve: evidenze di sedimentazione prevalenti ma non diffuse	4
C+	Sedimentazione: evidenze di sedimentazione largamente prevalenti e diffuse	8
		32

Non si valuta nel caso di assoluta mancanza di dati, informazioni ed evidenze sul terreno

ARTIFICIALITA'			parz.	prog.	conf.
A1 Difese di sponda					
A	Difese di sponda per quasi tutto il tratto ($> 80\%$ lunghezza totale sponde)	0			
B	Difese di sponda per 66-80% lunghezza totale sponde	4			
C	Difese di sponda per 33-66% lunghezza totale sponde	8			
D	Difese di sponda per 5-33% lunghezza totale sponde	12			
E	Assenza o solo difese localizzate ($\leq 5\%$ lunghezza totale sponde)	15			40

A2 Opere di rivestimento o consolidamento del fondo		
A	Rivestimenti del fondo per quasi tutto il tratto (>80% lunghezza)	0
B	Rivestimenti del fondo per 66-80% della lunghezza del tratto oppure come D con presenza diga estremità a valle	4
C	Rivestimenti del fondo per 33-66% della lunghezza del tratto e/o soglie, rampe, briglie, traverse >1 ogni n, dove n=1000 m in ambito di pianura/collina, n=200 m in ambito montano oppure come E con presenza diga estremità a valle	8
D	Rivestimenti del fondo per 5-33% della lunghezza del tratto e/o soglie, rampe, briglie, traverse ≤1 ogni n dove n=1000 m in ambito di pianura/collina, n=200 m in ambito montano	12
E	Assenza o presenza localizzata di rivestimenti (≤5% lunghezza del tratto) e assenza di altre opere di consolidamento (soglie, rampe)	15
		52

VARIAZIONI MORFOLOGICHE			parz.	prog.	conf.
V1 Variazioni della configurazione morfologica (si applica solo ad alvei con larghezza >30 m)					
A	Assenza di variazioni di configurazione morfologica rispetto ad anni '50	0			
B	Variazioni configurazione morfologica tra tipologie contigue rispetto anni '50	3			
C	Variazioni configurazione morfologica tra tipologie non contigue rispetto anni '50	5			52

V2 Variazioni di larghezza (si applica solo ad alvei con larghezza >30 m)		
C-	Restringimento intenso (>35%) rispetto ad anni '50	5
B-	Restringimento moderato (15-35%) rispetto ad anni '50	3
A	Variazioni di larghezza nulle o limitate (≤15%) rispetto ad anni '50	0
B+	Allargamento moderato (15-35%) rispetto ad anni '50	3
C+	Allargamento intenso (>35%) rispetto ad anni '50	5
		55

V3 Variazioni altimetriche		
D-	Incisione molto intensa (>6 m)	10
C-	Incisione intensa (>3 m)	6
B-	Incisione limitata o moderata (≤3 m)	3
A	Variazioni della quota del fondo trascurabili (fino 0.5 m)	0
B+	Sedimentazione limitata o moderata (≤3 m)	3
C+	Sedimentazione intensa (>3 m)	6
D+	Sedimentazione molto intensa (>6 m)	10
		57

Non si valuta nel caso di assoluta mancanza di dati, informazioni ed evidenze sul terreno

--

Punteggio totale: $P_{tot} = 58$ 61

Punteggio massimo: $P_{max} = 100 - P_{na} = 100$ 100
dove P_{na} = somma dei punteggi massimi degli indicatori non applicati

Indice di Dinamica Morfologica: $IDM = P_{tot}/P_{max} = 0,58$ 0,61

Classe di dinamica morfologica del tratto: **MEDIA** MEDIA

0 ≤ IDM < 0.3: Molto bassa; 0.3 ≤ IDM < 0.5: Bassa; 0.5 ≤ IDM < 0.7: Media;
0.7 ≤ IDM < 0.85: Elevata; 0.85 ≤ IDM ≤ 1.0: Molto elevata

TENDENZE ALTIMETRICHE **TRATTO 3 - FORNI DI SARA**

Dati disponibili (profili/sezioni)

1. Rilievo precedente (pref. ultimi 10 anni) anno
 2. Ultimo rilievo disponibile anno

In incisione In equilibrio In sedimentazione
 Variaz. misurate m m m

Dati / evidenze indiretti da foto aeree o immagini satellitari

f1 riduzione intrecciamento f3 intrecciamento costante f5 aumento intrecciamento
 f2 riduzione barre f4 barre costanti f6 aumento barre

Dati / evidenze sul terreno

Morfologia

M1 discontinuità barre-piana in. M7 continuità barre-piana in. M9 sommità barre e/piana in.

dislivello (m) sommità ghiaia (piana inondabile) - sommità barra ghiaia (piana in.) > barra 0,5 stesso livello
 numero totale misure barra > ghiaia (piana in.)

M2 barre erose frequenti M10 lobi sedimenti frequenti
 m3 assenza barre m11 barre longitudinali numer.

M4 scalino fondo (nickpoint) m8 entr.sponde stabili o con processi opposti M12 avulsioni e can.sec. piana
 m5 entr.sponde sottoscavate m13 entrambe sponde con accumulo al piede

m6 scarse tracce inond. piana m14 molte tracce inond. piana

Sedimenti

S1 preval.forte corazzamento (embric./forme fondo/scarso assortimento) s2 nessuna prevalenza (situazione intermedia) S3 preval.corazz.lieve/assente (embric. e forme fondo scars./ assortimento)

Vegetazione e materiale legnoso

v1 radici esposte diffusamente v4 sponde vegetate v6 radici sepolte diffusamente
 v2 alberi solo parte alta sponde v5 nessuna prevalenza v7 preval.legno abbond./caotico
 v3 preval.legno assente/scarso

Eventi di piena recenti (ultimi 10 anni circa) più significativi

Anno Staz.misura Q (m³/s) Tempo ritorno stimato (anni)
 Anno Staz.misura Q (m³/s) Tempo ritorno stimato (anni)

Classificazione tendenza altimetrica

in incisione in equilibrio in sedimentazione

Livello confidenza complessivo delle interpretazioni molto basso / basso / medio / alto / molto alto

Note e commenti

Bibliografia

APAT, 2007. Rapporto sulle frane in Italia, il progetto IFFI - metodologia risultati e rapporti regionali. Report 78/2007. ISBN 978-88-448-0310-0.

Astori A., Surian N., 1999. Studio finalizzato alla definizione geomorfologica della fascia di pertinenza fluviale del Fiume Tagliamento tra Socchieve e Pinzano e del Fiume Fella, del Torrente But e del Torrente Degano nei loro tratti terminali a monte della confluenza con il Fiume Tagliamento. Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, Studi finalizzati alla redazione del Piano di Bacino, 50 pp.

Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico, 1998. Piano di Bacino del Fiume Tagliamento: Piano stralcio per la sicurezza idraulica del medio e basso corso. Relazione, 118 pp.

Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico, 2012. Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei bacini idrografici dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave e Brenta-Bacchiglione. Relazione, 200 pp.

Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico, 2012. Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del sottobacino del fiume Fella. Relazione tecnica, 65 pp.

Barbina A., 1992. Friuli: ambiente a livello di guardia. Rassegna tecnica, 4, 13-20.

Bertoldi W., Gurnell A. M., Drake N. A., 2011. The topographic signature of vegetation development along a braided river: results of a combined analysis of airborne lidar, color air photographs, and ground measurements. *Water Resources Research*, 47, 7.

Bondesan A., Meneghel M., 2004. Geomorfologia della provincia di Venezia. Esedra, Padova.

Borga M., Boscolo P., Zanon F., Sangati M., 2007. Hydrometeorological analysis of the 29 August 2003 flash flood in the Eastern Italian Alps. *Journal of Hydrometeorology*, 8(5), 1049-1067.

Bosellini A., 1989. La storia geologica delle Dolomiti. Ed. Dolomiti.

Bossard M., Feranec J., & Otahel J., 2000. CORINE land cover technical guide: Addendum 2000.

Brierley G.J., Fryirs K.A., 2005. Geomorphology and River Management. Applications of the River Styles Framework. Blackwell Publishing, 398 pp.

Bussettini M., Rinaldi M., Surian N., Comiti F., 2013. Idromorfologia dei corsi d'acqua e Direttive Europee. *L'acqua*, 5-6, 113-122.

Castellarin B., 1990. Le inondazioni del Tagliamento. In: Fantin E. (a cura di), *Le alluvioni del Tagliamento a Latisana e nei Comuni della Bassa Friulana*, La Bassa, Latisana

Cavallin A. Martinis B., 1974. Studio geologico sulla frana di Borta (Ampezzo). *In alto*, 58, 297-319.

Cita M. B., 1982. The Messinian salinity crisis in the Mediterranean: a review, in *Alpine Mediterranean Geodynamics. Geodynamic Series*, 7, pp. 113-140.

Cita M. B., Corselli C., 1990. Messinian paleogeography and erosional surface in Italy: an overview. *Paleogeography Paleoclimatology Paleoecology*, 77, 67-82

Decreto Legislativo 23 febbraio 2010 , n. 49. Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni. *Gazzetta Ufficiale* del 2 aprile 2010, n. 77.

Descroix L., Gautier E., 2002. Water erosion in the southern French Alps: climatic and human mechanisms. *Catena*, 50, 53–85.

Diacono, P. *Storia dei longobardi*. Rusconi, 1972.

Fontana A., Mozzi P., Bondesan A., 2004. L'evoluzione geomorfologica della pianura veneto-friulana, in Bondesan A., Meneghel M. (a cura di), *Note illustrative della Carta geomorfologica della provincia di Venezia*, Esedra, Padova

Fontana A., Mozzi P., Bondesan A., 2008. Alluvial megafans in the Venetian–Friulian Plain (north-eastern Italy): evidence of sedimentary and erosive phases during Late Pleistocene and Holocene. *Quaternary International*, 189(1), 71-90.

Govi M., Sorzana P.F., 1977. Effetti geologici del terremoto: Frane - Riv. It. Paleont. Stratigr., 83, 2, 329-368.

Grove J.M., 1988. The Little Ice Age. Methuen: London.

Gurnell A., Downward S.,R., Jones R. (1994). Channel planform change on the River Dee meanders, 1876-1992. Regulated Rivers: Research & Management. 9, 187-204.

Gurnell A., 1997. Channel change on the River Dee meanders, 1946-1992, from the analysis of air photographs. Regulated Rivers: Research & Management. 13, 13-26.

Maione U., Machne G., 1982. Studio sulla formazione e sulla propagazione delle piene del fiume Tagliamento. Relazione Tecnica. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia.

Marchi L., Cavalli M., Sangati M., Borga M., 2009. Hydrometeorological controls and erosive response of an extreme alpine debris flow. Hydrological Processes, 23(19), 2714-2727.

Massari G., Potleca M., 2004. Alluvione 29 agosto 2003: GIS e tecnologie per il supporto decisionale. Atti ASITA 2004 – Federazione Italiana delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali ed Ambientali.

Meneghel M., 2006. Geomorfologia del bacino montano, da: Il Tagliamento. Cierre Ed. Bianco F, Bondesan A., Paronuzzi P., Zanetti M., Zanferrari A. (Eds.). 67-91.

Monegato G., Ravazzi C., Donegana M., Pini R., Calderoni G., Wick L., 2007. Evidence of a two-fold glacial advance during the last glacial maximum in the Tagliamento end moraine system (eastern Alps). Quaternary Research, 68(2), 284-302.

Monegato G., Stefani C., 2010. Stratigraphy and evolution of a long-lived fluvial system in the southeastern Alps (NE Italy): the Tagliamento conglomerate. Austrian Journal of Earth Sciences. 103 (2) 33-49.

Norbiato D., Borga M., Sangati M., 2006. Valutazione delle piogge estreme in Friuli Venezia Giulia ed analisi statistica dell'evento del 29 agosto 2003 nel bacino del Fella. Quaderni di Idronomia Montana, 26, pp. 131-151.

Paronuzzi P., 2006. Le acque, da: Il Tagliamento. Cierre Ed. Bianco F, Bondesan A., Paronuzzi P., Zanetti M., Zanferrari A. (Eds.). 165-207.

- Paronuzzi P., Cocco A., Garlatti G., 1998. Eventi meteorici critici e debris flows nei bacini montani del Friuli. *L'Acqua, Sezione I/Memorie*, 39-50.
- Pichilli A., 2003. Quella maledetta giornata d'agosto. *La Protezione Civile Italiana*, ottobre 2003, n.8, 64-80.
- Querini R., 1977. Influenza del terremoto sulla torrenzialità nei bacini montani del Friuli. *Acc. It. Sc. Forestali*, Firenze, 26, 139-185.
- Ramponi F., 1974. Fiume Tagliamento; *Atti della Commissione Interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e della difesa del suolo*, vol II, parte I, Roma.
- Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M., 2013. IDRAIM – Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma, in preparazione.
- Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M., 2011. Manuale tecnico-operativo per la valutazione ed il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d'acqua – Versione 1, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Roma, 232 pp.
- Rusconi A., 2002. Fragile Territorio. *Cinquefiumi*, 1/2002, 46.
- Schmocker-Fackel P., Naef F., 2010. Changes in flood frequencies in Switzerland since 1500. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14: 1581–1594.
- Stefanini S., Gerdol S., Stefanelli A., 1979. Studio per la definizione dei pericoli naturali nella Regione Friuli-Venezia Giulia (alluvioni, mareggiate, frane e valanghe). Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia - Assessorato dell'Agricoltura, Foreste, Economia Montana, Direzione Regionale delle Foreste.
- Surian N., Mao L., Giacomini M., Ziliani L., 2009. Morphological effects of different channel-forming discharges in a gravel-bed river. *Earth Surface Processes and Landforms*. 34, 1093-1107.
- Tropeano D., Turconi L., Sanna S., 2004. Debris flows triggered by the 29 August 2003 cloudburst in Val Canale, Eastern Italian Alps. *International Congress Interpraevent 2004*, vol. 1, topic 1, pp. 121-132.

Unione Europea, 2000. Direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque. Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee, 22.12.2000, 5-13.

Unione Europea, 2007. Direttiva 2007/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2007 relativa alla Valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, 6.11.2007, 30, 31.

Venturini S., Tunis G., 1991. Segnalazione di depositi miocenici nella val Tremugna e presso Osoppo (Friuli). Atti Tic. Sc. Terra, 34, 39-42

Ward JV, Tockner K, Edwards PJ, Kollmann J, Bretschko G, Gurnell AM, Petts GE, Rossaro B. 1999. A reference system for the Alps: the 'Fiume Tagliamento'. Regulated Rivers: Research and Management, 15, 63-75.

Winterbottom S., 2000. Medium and short-term channel planform changes on the Rivers Tay and Tummel, Scotland. Geomorphology. 34, 195-208.

Zanferrari A., 2006. Dagli antichi oceani alle montagne d'oggi, da: Il Tagliamento. Cierre Ed. Bianco F, Bondesan A., Paronuzzi P., Zanetti M., Zanferrari A. (Eds.). 23-65.

Ziliani L., 2011. Ricostruzione e previsione dell'evoluzione morfologica di un alveo a fondo ghiaioso (F. Tagliamento): integrazione di modellazione numerica, analisi GIS e rilievi di terreno. Ph.D. thesis, Università di Padova.

Ziliani L., Surian N., 2012. Evolutionary trajectory of channel morphology and controlling factors in a large gravel-bed river. Geomorphology, 173, 104-117.