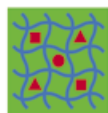




UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FACOLTÀ DI AGRARIA

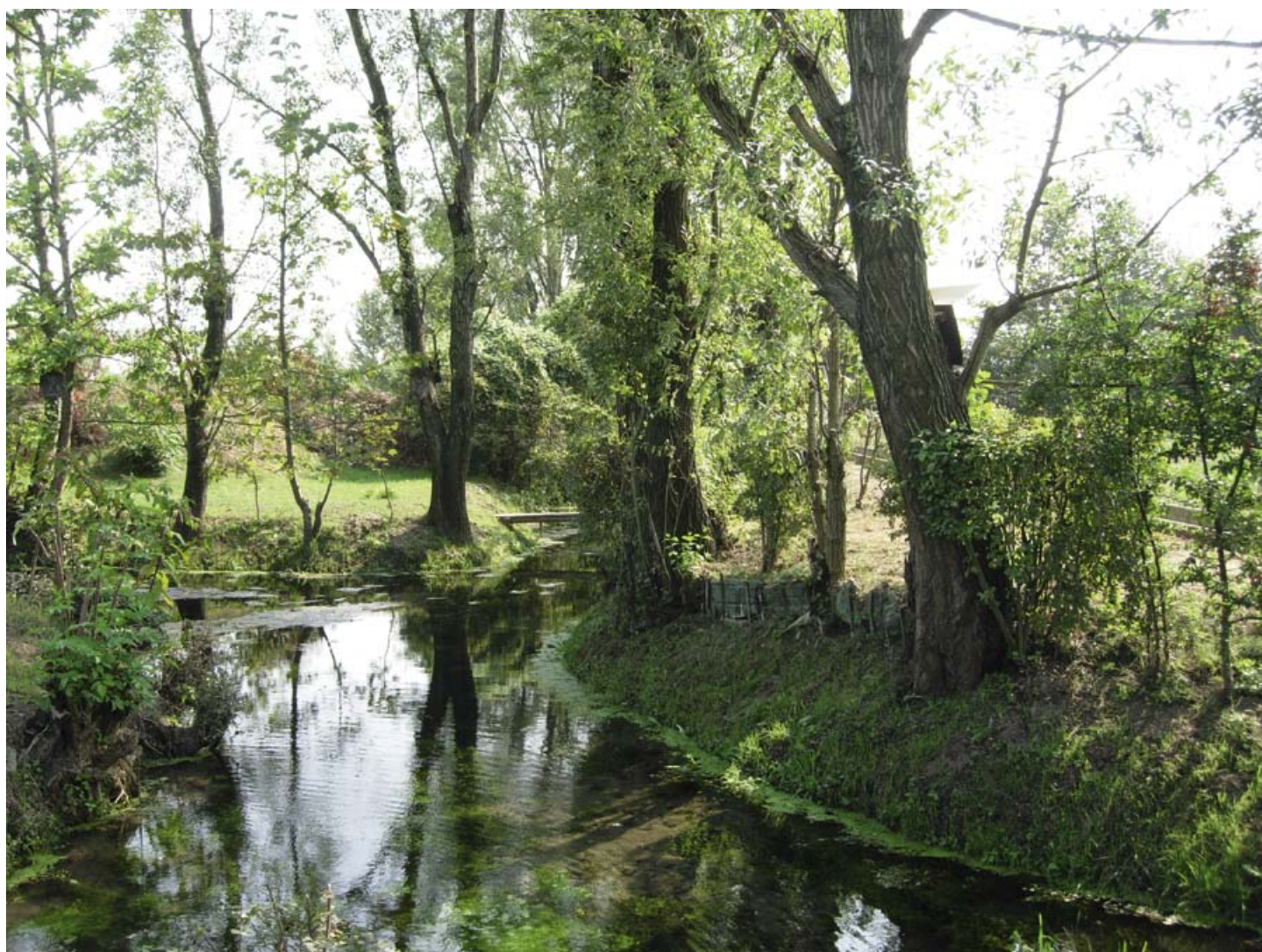


U.R.B.I.M. LOMBARDIA
Unione Regionale Bonifiche
Irrigazioni e Miglioramenti fondiari

www.regione.lombardia.it

TUTELA E VALORIZZAZIONE DEI FONTANILI DEL TERRITORIO LOMBARDO

FonTe



Quaderni della Ricerca
n. 144 - marzo 2012

LOMBARDIA. COSTRUIAMOLA INSIEME.



Regione Lombardia
Agricoltura

Sperimentazione condotta nell'ambito del progetto di ricerca n. 1276 "Sistema per la tutela e la valorizzazione dei fontanili del territorio lombardo" (FonTe) finanziato con D. G. R. 23 ottobre 2007, n. 5615 della Regione Lombardia (Programma regionale di ricerca in campo agricolo 2007-2009).

Autori del testo:

Gian Battista Bischetti, Natalia Fumagalli, Elisa Vittoria Piantanida, Giulio Senes,
Dipartimento di Ingegneria Agraria dell'Università degli Studi di Milano
www.dia.unimi.it
Giorgio Negri, Tatiana Pellitteri
U.R.B.I.M. Lombardia
www.urbimlombardia.it
Stefano Gomasca
Dipartimento di Biologia dell'Università degli Studi di Milano
Laura Marziali
CNR-IRSA Istituto di Ricerca sulle Acque di Brugherio

Elaborazioni GIS:

Paolo Stefano Ferrario
Dipartimento di Ingegneria Agraria dell'Università degli Studi di Milano
www.dia.unimi.it

Coordinamento scientifico:

Prof. Alessandro Toccolini
alessandro.toccolini@unimi.it
Tel +39 02 50 31 68 54

Per informazioni:

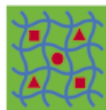
Regione Lombardia
Piazza Città di Lombardia n. 1 - 20124 Milano

Direzione Generale Agricoltura
U.O. Innovazione, cooperazione e valorizzazione delle produzioni
Struttura Ricerca, innovazione tecnologica e servizi alle imprese
Tel. +39.02.6765.3790 fax +39.02.6765.8056
e-mail: agri_ricerca@regione.lombardia.it
Referenti: Gianpaolo Bertoncini tel. +39.02.6765.2524
e-mail: gianpaolo_bertoncini@regione.lombardia.it
Marco Castelnuovo tel. +39.02.6765.6562
e-mail: marco_castelnuovo@regione.lombardia.it

Direzione Generale Territorio e Urbanistica
U.O. Tutela e valorizzazione del territorio
Struttura Programmazione, reticoli idrografici e demanio idrico
Referente: Andrea Corapi tel. +39.02.6765.8002
e-mail: andrea_corapi@regione.lombardia.it



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
FACOLTÀ DI AGRARIA



U.R.B.I.M. LOMBARDIA
Unione Regionale Bonifiche
Irrigazioni e Miglioramenti fondiari

TUTELA E VALORIZZAZIONE DEI FONTANILI DEL TERRITORIO LOMBARDO

FonTe

Quaderni della Ricerca
n. 144 - marzo 2012

INDICE

PRESENTAZIONE

Regione Lombardia	pag.	5
Responsabile scientifico	pag.	7

I FONTANILI LOMBARDI

Geomorfologia della Pianura Padana	pag.	9
Struttura e funzione del fontanile	pag.	10
Origini storiche, religione e tradizione	pag.	13
I fontanili e l'agricoltura	pag.	14
Ecologia del biotopo fontanile	pag.	17

CENSIMENTO DEI FONTANILI IN LOMBARDIA

Obiettivi	pag.	21
Sintesi delle informazioni disponibili	pag.	21
Campagna di rilevamento	pag.	23
Il GIS, Geographical Information System	pag.	27
Consistenza e caratteristiche dei fontanili	pag.	30

CLASSIFICAZIONE FUNZIONALE

Obiettivi e riferimenti legislativi	pag.	39
Funzione irrigua	pag.	41
Funzione ecologica	pag.	45
Funzione paesaggistica-ricreativa	pag.	52
Indicazioni di sintesi	pag.	58

MONITORAGGIO IDRAULICO

Caratteristiche dei fontanili e del loro regime idrometrico	pag.	59
Riferimenti metodologici per la misura della portata nei fontanili	pag.	62
Indicazioni sulla misura delle portate nei fontanili e sulla definizione di una rete di monitoraggio	pag.	67

LA TUTELA DEL BIOTOPO FONTANILE

Riferimenti normativi	pag.	69
Elementi biologici per la valutazione ecologica dei fontanili	pag.	70
Elementi idromorfologici e chimico-fisici dei fontanili	pag.	74
Le principali tipologie di fontanile	pag.	75
Comunità vegetali e a macroinvertebrati bentonici nei vari "tipi" di fontanile	pag.	76
Assetti diatomici dei fontanili: studio pilota	pag.	85

LINEE GUIDA PER LA GESTIONE

Premessa	pag.	89
Funzione irrigua	pag.	89
Mantenimento della funzione ecologica	pag.	91
Funzione paesaggistica-ricreativa	pag.	92
Il ruolo dei consorzi di bonifica	pag.	94

BIBLIOGRAFIA

ALLEGATO DVD delle schede dei fontanili censiti

PRESENTAZIONE



Il territorio lombardo, in particolare quello di pianura, è caratterizzato da numerosi insediamenti produttivi e residenziali che si alternano a ecosistemi naturali e rurali. Tra gli elementi costitutivi della pianura irrigua lombarda spiccano i fontanili, falde acquifere che emergono in superficie con il contributo dell'azione antropica che si è via via intensificata nell'ultimo millennio.

Questi “angoli” di territorio, quasi puntiformi e tra loro eterogenei, sono più di mille e sono stati oggetto del progetto di ricerca FONTE, le cui acquisizioni sono oggi messe a disposizione di tutti gli Enti coinvolti nel governo del Territorio, affinché i fontanili possano essere sempre più valorizzati per le loro funzioni plurime e multifunzionali.

Lo studio dei fontanili, presentato in questo Quaderno della Ricerca, mette in evidenza la loro importanza nell'approvvigionamento di acqua per l'irrigazione, ma è importante sottolineare che il fontanile è anche e soprattutto un elemento caratteristico del paesaggio rurale, capace di determinare la valenza naturalistica dell'area circostante. L'approfondimento sulla presenza di elementi biologici correlati alle caratteristiche idrologiche dei fontanili, ha inoltre confermato l'elevatissima biodiversità floristica, faunistica e zoologica di questi straordinari ambienti.

Il progetto FONTE ha permesso di acquisire un quadro conoscitivo unitario, omogeneo e puntuale di questa risorsa “nascosta”, che diventerà presto patrimonio comune inserendosi come parte integrante nel Sistema Informativo Territoriale della Regione Lombardia. Regione Lombardia ha infatti inserito, tra gli obiettivi di governo, anche la salvaguardia e la valorizzazione del patrimonio storico, naturalistico, produttivo e paesaggistico dei fontanili. Un obiettivo che intercetta le competenze di diversi assessorati e per questo riteniamo doveroso esprimere i nostri ringraziamenti ad **Alessandro Colucci**, Assessore ai Sistemi verdi e Paesaggio, a **Marcello Raimondi**, Assessore all'Ambiente, Energie e Reti, e alle rispettive Direzioni Generali per l'importante apporto dato alla realizzazione del progetto.

Giulio De Capitani

Assessore all'Agricoltura
Regione Lombardia

Daniele Belotti

Assessore al Territorio e Urbanistica
Regione Lombardia



Come Responsabile scientifico del progetto è mio dovere mettere in luce valori, limiti e risultati significativi del lavoro.

Il compito che ci era stato affidato dalla Regione era quello di indagare una realtà complessa e importante come quella dei fontanili lombardi, che così tanto hanno contribuito alla ricchezza agricola della Regione e che in modo così significativo ne connotano il paesaggio. Il primo passo è stato quello di “comprendere” la struttura e la funzione dei fontanili, nel passato e nel presente, per poterne delineare un futuro.

Il secondo è stato quello di individuare e “contare” i fontanili, schedandoli e, come si dice oggi, georeferenziandoli. Compito che si è rivelato più difficile e lungo del previsto, sia perché i censimenti effettuati precedentemente, pur pregevoli, erano parziali e differenti per provincia (per metodologia e per ap-

profondimento), sia perché molti fontanili sono oggettivamente difficili da raggiungere. Fondamentale è stato quindi il rilievo sul campo, effettuato con la collaborazione di URBIM e dei consorzi di bonifica; rilievo che è stato poi completato con successive “passate” sul territorio da parte dei tecnici dell’Università, sia per il controllo dei rilievi già effettuati sia per il completamento degli stessi in aree risultate “scoperte”.

In tale quadro uno dei valori della ricerca è il censimento, effettuato con metodologia omogenea per tutto il territorio, realizzato su base GIS (Geographical Information System) e quindi implementabile in tempi successivi da parte degli Enti Locali. D’altro canto, uno dei limiti è costituito dalla mole del censimento (circa 1600 fontanili censiti, per circa 1150 fontanili ancora presenti) che ha comportato inevitabilmente un livello di approfondimento medio, inferiore a quello che sarebbe stato possibile in ambiti territoriali più limitati.

Le schede dei fontanili censiti sono contenute nel DVD allegato al quaderno che permette la ricerca dei fontanili in base alla provincia ed al comune di appartenenza.

Con riferimento ai risultati significativi mi piace sottolineare che:

- risulta confermata la valenza ambientale e paesaggistica dei fontanili esistenti;
- circa l’80% dei fontanili esistenti si trova in ambito rurale (il 77% in zone decisamente agricole);
- solamente il 10% dei fontanili, ancora presenti, non è utilizzato; sono questi che necessitano di interventi prioritari a sostegno per evitarne l’abbandono;
- il 50% dei fontanili è sempre alimentato durante l’anno, e l’80% è comunque alimentato anche se il 27% presenta asciutte periodiche;
- il 60% dei fontanili è accessibile (il 23% da strade campestri e il 2% da piste ciclopedonali), condizione fondamentale per la loro fruizione ricreativa;
- esiste un legame già sperimentato tra pratiche irrigue a monte e regime fontanilizio, per cui la modifica delle pratiche irrigue (da scorrimento ad aspersione) può modificare il regime idrico dei fontanili.

Con riferimento, invece, alle linee operative per la valorizzazione dei fontanili, esse possono essere così sintetizzate:

- enfatizzare e recuperare il ruolo dei fontanili come elementi di qualità ecologica e paesaggistica del territorio lombardo;
- sviluppare strumenti di sostegno per il loro recupero a fini agricoli e ricreativi;
- garantire certezza giuridica e operatività alle prescrizioni urbanistiche di tutela di livello locale;
- integrare il sistema dei fontanili con la rete ecologica regionale e il sistema di percorsi verdi, per una loro migliore e più valida fruizione;
- tutelare la loro alimentazione idrica con idonee pratiche di irrigazione;
- prevedere una costante azione di manutenzione e di monitoraggio ambientale;
- svolgere una attenta azione di sviluppo e tutela delle comunità vegetali e faunistiche presenti, ricorrendo a metodi basati sulla centralità delle componenti biologiche e sulla valutazione dello stato di qualità degli ecosistemi acquatici (Direttiva 2000/60/CE); in tal senso, indicatori biologici come le diatomee presentano caratteristiche di facile campionabilità e ottima riconoscibilità, fornendo utili informazioni sulla qualità chimico-fisica dell’acqua dei fontanili.

Prof. Alessandro Toccolini
Responsabile scientifico

I FONTANILI LOMBARDI

1- Geomorfologia della Pianura Padana

Il fontanile è una presa d'acqua nella falda acquifera non affiorante creata dall'uomo per far risalire in superficie, raccogliere, indirizzare e utilizzare a scopo irriguo le acque sotterranee. Si tratta quindi di un'opera dell'uomo che come tale si differenzia dalle naturali risorgive, o sorgenti di pianura, anche se da esse trae origine. In altri termini la risorgiva fa riferimento ad un affioramento spontaneo mentre si parla di fontanile quando l'affioramento è il risultato dell'azione antropica.

La sovrapposizione fra i due termini è dovuta al fatto che spesso i fontanili sono stati scavati in aree già interessate dalla presenza di risorgive, fenomeno naturale oggi visibile sono in alcune aree nella zona est della Pianura Padana (Veneto e Friuli).

Il carattere risaliente delle acque, provenienti da infiltrazione più a monte di acque superficiali, dipende infatti dalla conformazione geomorfologica della Pianura Padana; si tratta di una regione omogenea dal punto di vista morfologico e idrografico, risultato, almeno negli strati più superficiali, soprattutto dei fenomeni di erosione e deposizione avvenuti nell'ultimo periodo glaciale. L'ultima glaciazione ha interessato la regione alpina nel Pleistocene, iniziato circa 110.000 anni fa e terminato circa nel 10.000 a.C.

La maggior ampiezza della porzione di pianura che si trova a nord del Po, rispetto a quella posta a sud del fiume, indica il maggior apporto di sostanze trasportate a valle dalle Alpi rispetto a quelle discendenti dagli Appennini. Tale trasporto ha determinato la formazione di conoidi di deiezione che superati i cordoni morenici a ridosso degli sbocchi delle vallate alpine hanno dato origine ad una vasta pianura alluvionale al di sotto di questa fascia pedemontana.

Sulla base della composizione dei terreni, e di conseguenza del regime delle acque e della vegetazione, è possibile una distinzione fra alta pianura e bassa pianura.

L'alta pianura, che occupa la fascia a ridosso di Prealpi e Appennini, è ricca di materiali grossolani, sabbia e ghiaia permeabili al passaggio dell'acqua superficiale che penetra sotto la superficie fino a che incontra un insieme di strati impermeabili argillosi-limosi, per poi scorrere su questo strato verso valle e riaffiorare in corrispondenza della fascia delle risorgive dove inizia la bassa pianura o pianura irrigua formata da materiali tendenzialmente più fini (argille e limi) come rappresentato in sintesi nello schema di figura 1.

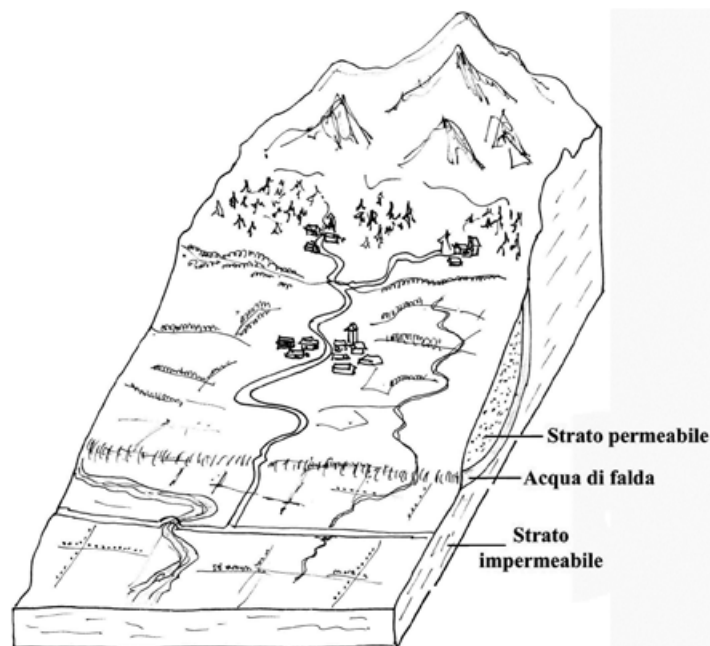


Figura 1. Schema della geomorfologia della Pianura Padana

La transizione fra alta e bassa pianura avviene quindi in corrispondenza della fascia delle risorgive, riportata nella figura 2; qui le acque, assorbite da terreni ghiaiosi e permeabili a monte, incontrano terreni fini e impermeabili, la falda freatica risale fino al piano di campagna e le acque tendono a riaffiorare, formando corsi d'acqua, se di portata notevole, zone umide, paludi e stagni e acquitrini in caso di minor portata.

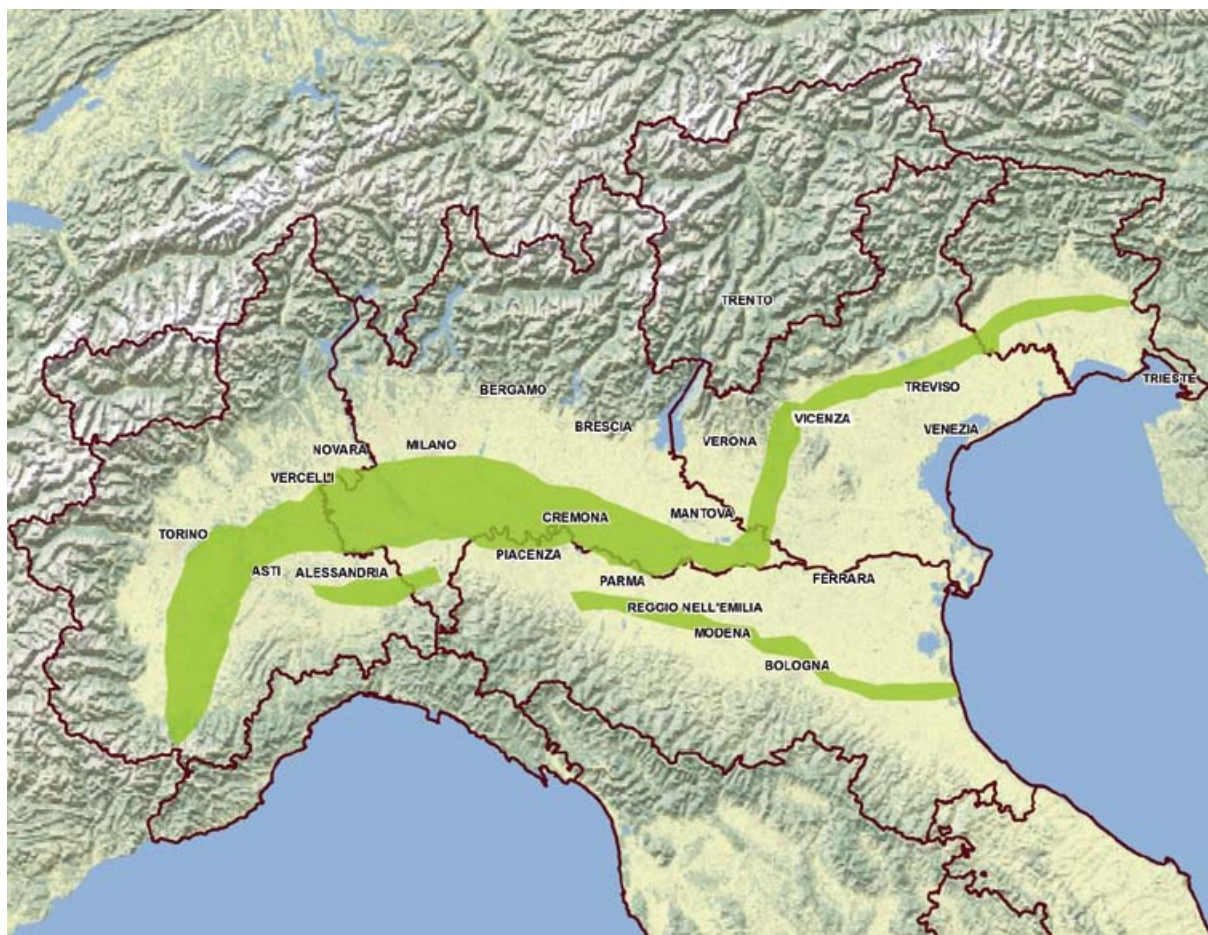


Figura 2. Fascia delle risorgive

Come indicato nella mappa questo fenomeno è riscontrabile in una fascia che attraversa longitudinalmente l'intera pianura padano-veneta e che ha la sua maggior ampiezza nella parte nord ovest della valle. La ricchezza del fenomeno è naturalmente funzione dell'alimentazione a monte determinata non solo da fenomeni naturali ma anche dalle pratiche irrigue.

2- Struttura e funzione del fontanile

Il fontanile è formato da due parti principali: la testa e l'asta. La testa è costituita da uno scavo nel terreno, profondo almeno quanto necessario per intercettare la falda freatica e quindi, generalmente con profondità decrescente passando dall'alta alla bassa pianura. L'asta è il fosso scavato, a partire dalla testa, per drenare le acque che affiorano direttamente verso i terreni da irrigare o verso canali irrigui di maggior dimensione. Ampiezza della testa e lunghezza dell'asta sono estremamente variabili e sono sostanzialmente funzione della portata come specificato nel paragrafo 4.

D'accordo con Baratti (1999) all'interno della testa possiamo poi distinguere diverse parti (figura 3): le *polle* o occhi costituiscono i punti in cui l'acqua scaturisce dal fondo spontaneamente o attraverso il posizionamento di elementi senza fondo come tini e tubi che hanno lo scopo di favorire la

risalita ed intercettare le acque poste a maggior profondità di quella di scavo. La risalita delle acque può essere evidente o impercettibile, continua o saltuaria nel corso dell'anno.

Gli *argini* costituiscono le pareti della testa e quando lo scavo per la formazione del fontanile intercetta l'acqua di prima falda, l'alimentazione può avvenire mediante infiltrazioni laterali lungo gli argini. Per contenere fenomeni di erosione degli argini, oltre all'impiego di pendenze idonee, un ruolo importante è svolto dalla vegetazione che vi si insedia e sviluppa ed eventualmente da interventi operati dall'uomo con la messa a dimora di alberi ed arbusti e la messa in opera di strutture di contenimento (Figura 4).

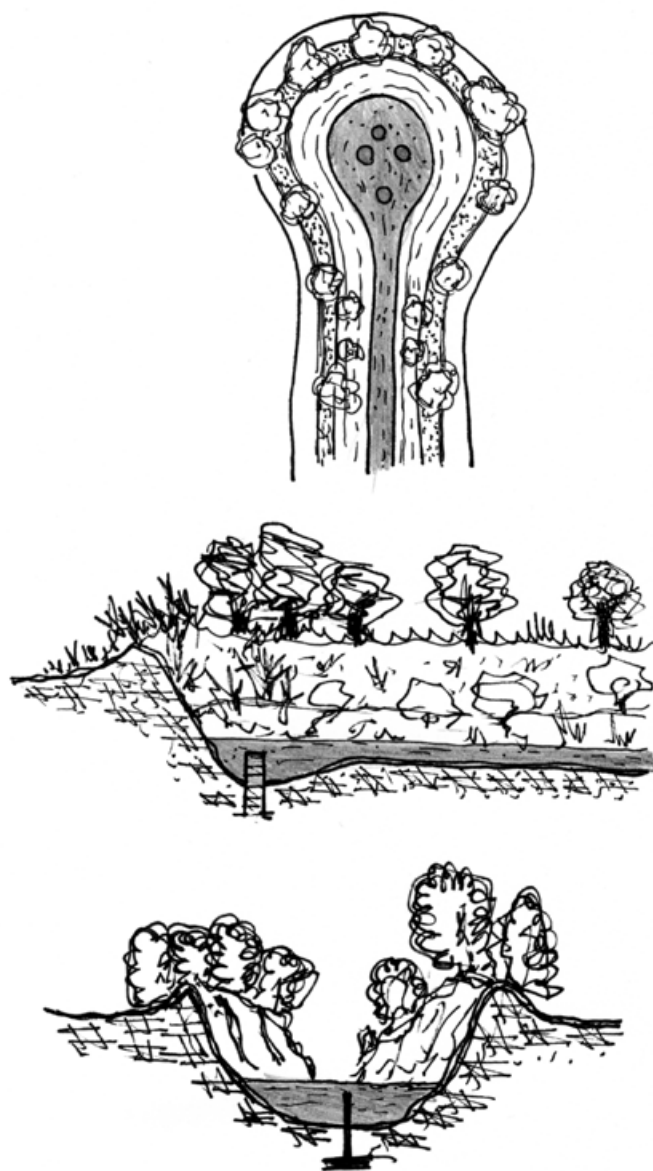


Figura 3. Schema tipo del fontanile (adattato da Baratti, 1999)

Il terreno di scavo può essere lasciato lungo il bordo dello scavo a formare una sorta di corona con una quota di qualche decina di centimetri. Sia essa sopraelevata o alla stessa quota del piano di campagna, l'area attorno al fontanile è generalmente occupata dalla vegetazione tradizionalmente impiantata, o comunque lasciata crescere, attorno alla testa. Ciò con il duplice scopo di avere materiale da destinare a vari impieghi e di ombreggiare l'area sottostante e inibire, così, la proliferazione della vegetazione in acqua, possibile ostacolo alla risalita delle acque.

L'asta, così come la testa, è caratterizzata da una lieve pendenza che facilita lo scorrimento dell'acqua. Essendo la pendenza dell'asta inferiore rispetto a quella dei terreni circostanti, l'acqua che scorre nell'asta guadagna progressivamente quota fino ad arrivare al piano di campagna e poter essere così utilizzata per l'irrigazione. Ciò determina una caratteristica propria dei fontanili che è quella di essere, dal punto di vista "funzionale", non direttamente dipendenti dall'ambiente nel quale si trovano: in altre parole un fontanile inserito in un contesto urbano può mantenere la sua funzione irrigua per i terreni posti nelle aree agricole che si trovano a valle e, al contrario, un fontanile localizzato in ambito rurale può vedere interrotto il suo corso, e quindi la sua funzione irrigua, dalla realizzazione di insediamenti e nuove urbanizzazioni lungo il corso dell'asta.



Figura 4. Strutture in legno per il contenimento delle sponde

Fatte salve queste indicazioni piuttosto generiche e riferibili, per così dire, al fontanile "tipo", le caratteristiche morfologiche e strutturali dei fontanili presenti sul territorio lombardo sono estremamente variabili e riguardano, tra l'altro, la profondità dello scavo e le dimensioni, la forma della testa e dell'asta, il numero e la disposizione delle teste, le modalità di alimentazione, la granulometria del materiale che costituisce il fondo, la struttura degli argini e delle sponde, la presenza o meno della vegetazione, la composizione vegetazionale sia in acqua che nell'intorno ed altro ancora. Tutte queste caratteristiche sono dipendenti le une dalle altre e, soprattutto, incidono sulle funzionalità irrigua, ecologica e paesaggistica dello stesso. Per questo motivo saranno analizzate nei loro elementi essenziali, nei capitoli seguenti ponendole in relazione alle diverse funzioni che il fontanile deve svolgere.

3- Origini storiche, religione e tradizione

Se la formazione del paesaggio agricolo della Lombardia, e della pianura padana in genere, si può far risalire alle opere di centuriazione dei romani, non vi sono indicazioni così antiche circa l'impiego di acque sotterranee a scopo irriguo.

Così la pratica di regolazione delle risorgive naturalmente presenti si può, con tutta probabilità, inserire nel quadro delle opere di bonifica successive all'anno mille; opere volte al drenaggio delle acque superficiali nella fascia delle risorgive per rendere i terreni coltivabili e irrigare al contempo quelli asciutti posti a valle. Il passaggio dalle opere di drenaggio a quelle di scavo per l'utilizzo delle acque sotterranee si legò nei secoli successivi all'impiego in agricoltura di superfici via via crescenti e alla conseguente crescente necessità di acque per l'irrigazione, con un fabbisogno non più soddisfatto dalle sole acque superficiali. Ciò avvenne dapprima solo nelle aree naturalmente meno ricche di acque superficiali e successivamente la pratica di escavazione si estese a tutta la fascia delle risorgive. La presenza storica dei fontanili è comprovata dall'analisi dei toponimi che spesso richiamano il termine "fontana" e dei documenti legati ai passaggi di proprietà conservati negli archivi storici.

In epoca comunale poi le acque dei fontanili furono utilizzate anche a scopo difensivo: molti centri murati della pianura padana a partire dal XII-XIII secolo furono circondati da fossati colmi d'acqua alimentati da sorgenti sotterranee come mostrano ancora, ad esempio, i centri di Fontanella nella pianura bergamasca e a Parona nella provincia di Pavia (Figura 5).



Figura 5. Esempio di fossato difensivo alimentato da acque di fontanile
(fonte: Catasto teresiano, Comune censuario di Fontanella, BG - 1723)

I documenti che mostrano la costruzione e l'utilizzo dei fontanili si moltiplicarono nei secoli successivi con il sostanziale mantenimento della tecnica di realizzazione ad eccezione dell'impiego di strutture aventi lo scopo di favorire la risalita delle acque (tini in legno prima, tini in cemento e tubi in ferro poi).

La presenza dei fontanili non è legata, però, solo a scopi pratici; da sempre l'uomo ha ricercato nell'acqua, e nell'acqua sorgente in particolare, un elemento di purificazione e di contatto con il soprannaturale. L'acqua di fonte è sempre stata simbolo di fecondità e nella religione cristiana l'acqua

è la sostanza purificatrice per eccellenza, simbolo di rigenerazione a nuova vita. Oltre a ciò la ricchezza della vegetazione anche in inverno e la presenza della fauna acquatica facevano dei fontanili un simbolo di fertilità ed abbondanza.

Così a volte accanto o sopra i fontanili, originariamente legati al culto di antiche divinità pagane delle acque, furono collocati luoghi di culto. A Milano furono erette presso fontanili le chiese di S. Eustorgio e S. Martino al Capo ed in tempi più recenti il santuario della Beata Vergine della Fonte di Caravaggio, le abbazie di S. Albino a Mortara e di Acqualunga a Frascarolo e la chiesa di Santa Maria alla Fontana a Milano.

Il legame fra acqua e divino è poi testimoniato da una serie di piccole cappelle votive e toponimi che richiamano il sacro e che ancora si trovano nelle vicinanze dei fontanili, così come nei nomi dei fontanili, quali la Madonna del Casale in Lomellina, la Madonna del Fontanone a Ospedaletto Lodigiano, la Madonna della Fonte ad Antegnate in provincia di Bergamo e molti altri ancora.

4 - I fontanili e l'agricoltura

I fontanili, come precedentemente accennato, sono stati un elemento fondamentale per lo sviluppo dell'agricoltura lombarda e più in generale per il progresso economico del territorio lombardo.

Secondo alcuni (Albergoni et al., 1999) l'origine dei fontanili sarebbe da mettere in relazione all'attività di bonifica dei terreni paludosi iniziata in Lombardia a partire dall'XI-XII secolo, mentre solo a partire dalla metà del XVI secolo sarebbe iniziato il loro sfruttamento per fini irrigui. In particolare, in tale periodo si è sviluppata la tecnica delle marcite attraverso le quali è stato possibile disporre di foraggio fresco anche durante la stagione invernale e quindi incrementare la produzione zootecnica, la produzione lattiera e di tutti i prodotti derivati.

Le marcite erano costituite da terreni opportunamente sagomati e sistemati in maniera tale da consentire la distribuzione costante di un velo d'acqua attraverso un sofisticato sistema di canalizzazioni ad incastro (figura 6).

Grazie al fatto che la temperatura dell'acqua dei fontanili è relativamente costante durante l'intero arco dell'anno (10-13° C con i minimi in febbraio-marzo ed i massimi in ottobre e novembre; Desio, 1973), in inverno il continuo scorrimento dell'acqua sul terreno apporta calore mantenendo una temperatura sufficientemente elevata da impedire al suolo di gelare e consentire la crescita costante di graminacee foraggere.

Lo sfruttamento delle marcite, che come detto è stato uno dei motori dello sviluppo economico della Lombardia, è proseguito in maniera sostanzialmente inalterata fino all'inizio del XX secolo, per poi ridursi via via d'importanza. L'ostacolo alla meccanizzazione costituito dalla particolare sistemazione del terreno e l'onerosità della gestione dell'acqua, congiuntamente alla disponibilità di risorse differenti per l'alimentazione animale, ha portato all'abbandono delle marcite, che sopravvivono come isolati relitti solo grazie a qualche contributo pubblico ed alla passione di pochi agricoltori.

Analogamente, sebbene in minor misura, anche i fontanili hanno subito una generale riduzione d'importanza. A partire dal XV secolo fino alla fine del XIX secolo, infatti, è progressivamente aumentata la disponibilità idrica da acqua fluente grazie alla realizzazione di molte opere di derivazione e relative reti di adduzione e distribuzione, mentre con l'avvento della meccanizzazione anche l'agricoltura ha avuto accesso a nuove forme, sufficientemente economiche, di approvvigionamento idrico da acque sotterranee. Infine, l'estesa urbanizzazione di molte aree della pianura lombarda cui si è assistito negli ultimi trenta anni ha determinato l'inattività o addirittura l'eliminazione di molti fontanili sia perché non più alimentati sia perché interrati in conseguenza dei cambiamenti di uso del suolo.

Ciononostante, e diversamente dalle marcite, i fontanili non hanno perso completamente la loro funzione di approvvigionamento idrico per l'agricoltura. È infatti da ricordare come in alcune aree della Regione Lombardia la portata garantita dai fontanili non sia affatto trascurabile e consenta la presenza di un'agricoltura irrigua, altrimenti impossibile o soggetta al prelievo da falda attraverso pozzi, con conseguente dispendio energetico ed aggravio economico.

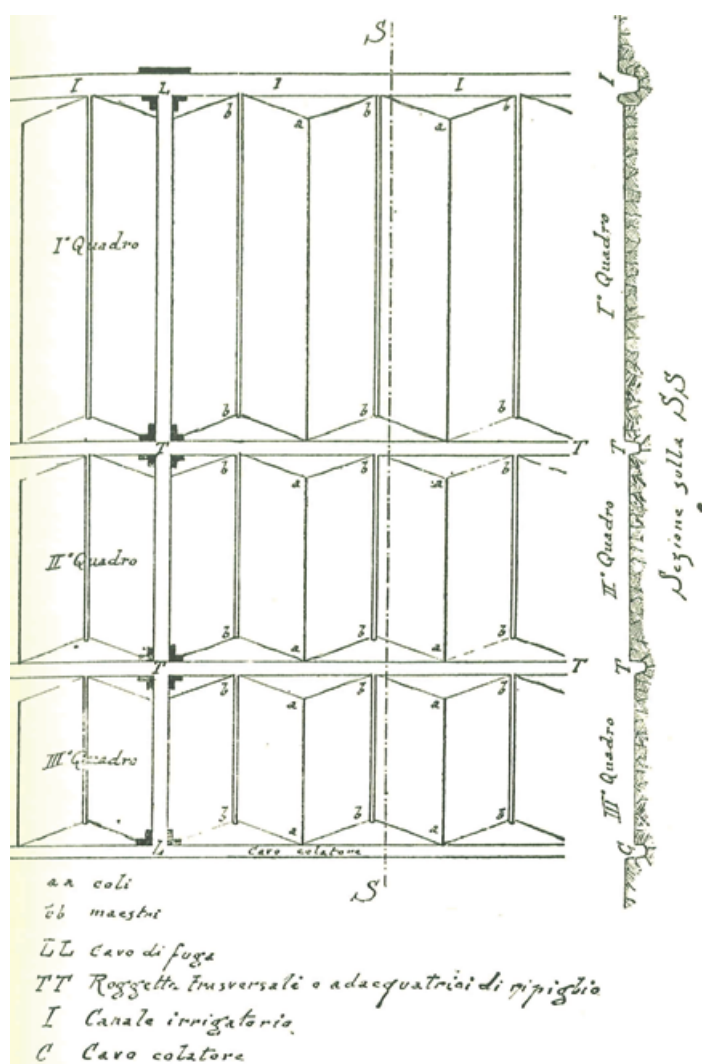


Figura 6. Una delle poche marcite residue sita ad Abbazia Cerreto e schema della marcita tratto da G. Soresi - La marcita lombarda - Biblioteca Agraria Ottavi vol. CXXII, Casa Editrice F.lli Ottavi, Casalmonferrato, 1914 (ristampa anastatica a cura della Società Agraria di Lombardia, 2000)

Per dare un'idea dell'evoluzione dei fontanili nel secolo scorso è possibile confrontare i dati presentati da Custer (1952) con quelli presentati dalla Provincia di Milano (1975): il primo riporta che tra Ticino ed Adda il Servizio Idrografico negli anni compresi tra il 1933 e il 1937 ha censito 464 fontanili e misurato una portata complessiva di $73,4 \text{ m}^3/\text{s}$ pari a $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ per chilometro; la seconda stima, in via indicativa, che a metà degli anni '70 di tali fontanili ne erano rimasti 430 in grado di erogare una portata media annua di $28 \text{ m}^3/\text{s}$ pari a $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ per chilometro. La portata unitaria per chilometro è stata calcolata dividendo la portata complessiva misurata sui fontanili considerati per la lunghezza su cui essi si distribuiscono.

Negli ultimi 30 anni non sono stati fatti rilievi sistematici, ma si è assistito a fenomeni contrastanti che andranno attentamente valutati: da una parte l'ulteriore riduzione dei fontanili attivi, dall'altra un aumento dei livelli freatici che hanno invertito la tendenza dei decenni precedenti in merito alla portata erogata.

Per quanto riguarda il livello tecnologico, si può tranquillamente dire che i fontanili sono rimasti sostanzialmente inalterati dalla loro "invenzione" ai giorni nostri, ad eccezione dei tubi metallici introdotti nella seconda metà dell'800 (tubi Calandra, Piana e Norton) e la sostituzione dei tradizionali "tini" in legno (i cosiddetti "occhi") con i cilindri in calcestruzzo prefabbricato comunemente usati per i condotti fognari, avvenuta più recentemente (figura 7).



Figura 7. Tini in cemento con copertura e tubi metallici commerciali adattati

Per quanto riguarda il rapporto tra fontanili e agricoltura, si può dire che da una parte la dipendenza dell'irrigazione dai fontanili si è ridotta nel tempo per la maggior disponibilità di acque e per la possibilità di emungere acqua dal sottosuolo, dall'altra è aumentata la dipendenza dell'alimentazione fontanilizia dall'attività agricola. Come sarà illustrato in seguito, infatti, il regime idrologico dei fontanili è strettamente legato alle pratiche agricole ed all'irrigazione in particolare. Tale legame è tuttavia piuttosto complesso e differenziato da zona a zona in funzione delle caratteristiche del territorio e soprattutto in funzione delle interrelazioni tra le acque superficiali distribuite da diversi canali (che spesso si sovrappongono ed intersecano), le colature ed i prelievi da acque sottosuperficiali. È comunque ormai assodato che le pratiche irrigue tradizionali, grazie alla loro scarsa efficienza sono uno dei fattori che sta alla base dell'alimentazione di molti fontanili (Gandolfi et al., 2006). Data la rilevanza ambientale assunta dai fontanili negli ultimi decenni, quali ecosistemi paraturali di pregio, tale constatazione deve far riflettere sulle reali conseguenze che può avere la spinta verso la conversione dei sistemi irrigui tradizionali verso sistemi ad aspersione, perlomeno nelle aree che alimentano i fontanili.

Tra i problemi attuali che affliggono i fontanili, quindi non vanno annoverati solo l'incuria e il generale stato di abbandono in cui spesso essi versano, ma anche la gestione dell'irrigazione ed ancor più l'impermeabilizzazione delle aree di alimentazione.

Mentre da una parte i danni di una scarsa manutenzione possono essere riparati anche in breve, l'eliminazione delle aree di alimentazione portano inesorabilmente alla scomparsa dei fontanili, divenuti inattivi e quindi abbandonati, al contrario, il mantenimento dell'utilizzo irriguo delle acque da fontanile è la miglior garanzia di una sua costante manutenzione da parte degli agricoltori. In prospettiva, quindi, come sarà meglio illustrato in seguito, la salvaguardia dei fontanili potrà essere garantita solamente dal mantenimento delle loro aree di alimentazione (che devono però essere prima individuate) e dalla manutenzione che gli utilizzatori hanno tutto l'interesse a garantire.

5- Ecologia del biotopo fontanile

Dal punto di vista ecologico i fontanili devono essere considerati dei veri e propri *hotspot* di biodiversità dato che rappresentano uno degli ultimi habitat rifugio per molte specie vegetali ed animali ecologicamente esigenti, un tempo assai diffusi nel territorio padano ed oggi in forte declino.



Figura 8. La ricchezza della vegetazione acquatica dei fontanili contrasta spesso con la povertà vegetazionale delle aree circostanti dominate dalle monocolture (Fontanile Brancaleone, Morengo, BG)

Questa elevata diversità biologica dipende principalmente da alcune caratteristiche dell'acqua che sgorga dal sottosuolo: la temperatura, che rimane relativamente costante durante il corso dell'anno, e l'oligotrofia, ossia la relativa povertà di nutrienti. L'acqua, provenendo dal sottosuolo, ha temperature comprese tra gli 8-10 °C del mese di aprile e i 15-18 °C del mese di ottobre. Questa condizione particolare garantisce il mantenimento di un microclima estivo fresco con temperature di molto inferiori rispetto a quelle dei corsi d'acqua planiziali e, nel contempo, impedisce il congelamento delle acque durante l'inverno, favorendo pertanto lo sviluppo della vegetazione anche nei periodi più freddi. L'acqua mantiene quindi un regime termico più stabile e costante nel corso dell'anno rispetto a quello atmosferico che può presentare escursioni tra l'inverno e l'estate di 40-45 °C.

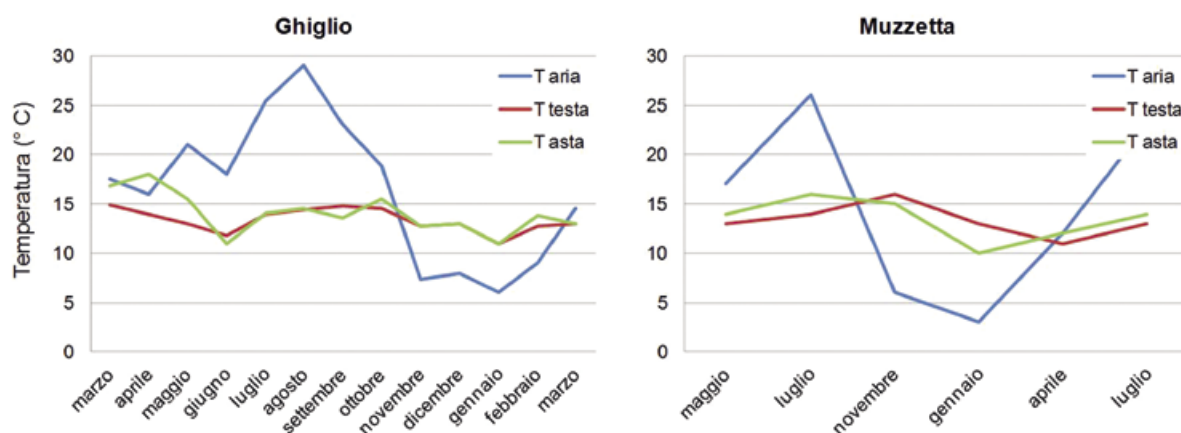


Figura 9. Fontanile Ghiglio (Cornaredo, MI) e Fontanile Muzzetta (Rodano, MI): andamento annuale della temperatura dell'aria e dell'acqua (nella testa e nell'asta)

Il carattere oligotrofo dell'acqua è dovuto invece al lungo percorso che compie nel sottosuolo. Qui viene filtrata dai sedimenti alluvionali che attraversa (anche per decine di chilometri) prima di emergere in superficie. Una volta emersa a giorno, quest'acqua, presentando basse concentrazioni di nutrienti e di solidi sospesi, dà origine a specchi cristallini simili a sorgenti montane.

Queste caratteristiche permettono la convivenza di specie che solitamente prediligono habitat differenti. Qui vivono infatti taxa che si riscontrano nella zona prealpina (in alcuni casi alpina) accanto ad organismi termofili adattati ai tratti planiziali dei corsi d'acqua. La ricchezza della vegetazione, sia riparia sia acquatica, crea inoltre una notevole varietà di nicchie ecologiche dove possono insediarsi organismi a valenza ambientale molto diversa.

Nelle fresche e limpide acque trovano rifugio non solo piccoli invertebrati, che colonizzano i sedimenti del fondo (benthos) o la superficie dell'acqua (neuston), ma anche pesci ed anfibi. Tra gli invertebrati acquatici prevalgono le forme giovanili degli insetti, che allo stadio adulto colonizzano invece l'ambiente terrestre (un esempio classico è quello delle libellule). Sono inoltre presenti anche organismi prettamente acquatici, quali i crostacei e gli anellidi. L'ittiofauna è caratterizzata da specie tipiche, dai piccoli pesci bentonici come il cobite comune, lo scazzone, lo spinarello si passa a voraci predatori come il luccio. Gli anfibi sono rappresentati dai tritoni, dai rospi e dalle rane, animali sempre più rari nel contesto della Pianura Padana.



Figura 10. Femmina e maschio di *Sympetrum pedemontanum* in accoppiamento. Questa specie è tipicamente presente lungo le sponde delle teste dei fontanili

Accanto agli animali ed ai vegetali strettamente legati all'ambiente acquatico, i fontanili ospitano molti altri taxa di invertebrati, come ad esempio insetti e ragni, e di vertebrati, come mammiferi, uccelli e rettili che trovano le condizioni ideali per deporre le uova, o che utilizzano questo "ambiente rifugio" solo temporaneamente come corridoio ecologico per i loro spostamenti. Le fasce riparie attorno al fontanile, offrono infatti nicchie ideali per la nidificazione degli uccelli, quali anatre, aironi, gallinelle d'acqua, e sono importanti rifugi per bisce e lacertidi, nonché per piccoli mammiferi come ricci e roditori.



Figura 11. Larva acquatica di tritone

Se nel corso degli ultimi decenni i fontanili hanno perso la loro importanza nell'ambito delle attività irrigue, restano però, nel contesto agricolo della pianura Padana, dei baluardi di naturalità da preservare e tutelare ai fini della conservazione della fauna autoctona della Lombardia. L'equilibrio tra flora e fauna, tuttavia, è regolato da sofisticati meccanismi che rischiano di essere alterati dalle pressioni antropiche che nel corso del tempo si sono fatte sempre più intense.

Le lavorazioni intensive dei suoli causano l'immissione di sostanze organiche, composti tossici e nutrienti nelle falde freatiche e di conseguenza nelle acque dei fontanili determinando, in ultima analisi, la scomparsa dei taxa (unità tassonomiche) con livelli di tolleranza più ristretti (ossia i più sensibili). Le comunità animali e vegetali sono inoltre direttamente influenzate dallo stadio evolutivo del fontanile che, in assenza di manutenzione, progredisce gradualmente verso l'interramento: questo processo causa una modificazione nella disponibilità di habitat, riducendo la varietà delle nicchie ecologiche e determinando, di conseguenza, la scomparsa delle specie acquatiche ecologicamente più esigenti. Anche la riduzione delle fasce riparie contribuisce ad accentuare la frammentazione degli habitat, ostacolando la permanenza sul territorio di vertebrati terrestri quali uccelli, mammiferi, rettili ed anfibi. L'immissione di specie alloctone, infine, quali la nutria, il gambero della Louisiana e varie specie di pesci (carasso, gardon, pseudorasbora) ha creato importanti modificazioni nelle catene trofiche a svantaggio degli organismi autoctoni.

Per queste ragioni i fontanili devono essere considerati ecosistemi a rischio che richiedono, di conseguenza, un' oculata politica gestionale ai fini della conservazione della fauna e della flora, compatibilmente con le attività antropiche che si svolgono nel territorio circostante. Infatti, se da un lato è auspicabile attuare misure che prevengono l'eccessiva alterazione chimica e morfologica dell'ambiente, dall'altro è necessario svolgere una corretta manutenzione (spurgo) per evitare processi avanzati di interrimento. Il successo di tali misure ai fini della conservazione della funzione ecologica dei fontanili potrà essere valutato efficacemente mediante azioni di monitoraggio ecologico atte a definire il grado di compromissione delle componenti biologiche ed a identificare le criticità che interessano l'ecosistema.

CENSIMENTO DEI FONTANILI IN LOMBARDIA

1- Obiettivi

La necessità di pervenire ad una conoscenza sistematica della localizzazione, consistenza e stato ambientale dei fontanili lombardi ha richiesto un'analisi e comparazione delle informazioni (bibliografiche, cartografiche e di analisi) disponibili ed un'indagine sul territorio per la verifica dello stato attuale dei fontanili realizzata con la compilazione di una scheda di campo elaborata dai partners del progetto di seguito elencati:

Università degli Studi di Milano – Dipartimento di Ingegneria Agraria
URBIM Lombardia - Unione Regionale Bonifiche Irrigazioni e Miglioramenti Fondiari
Consorzio di Bonifica Alta e Media Pianura Mantovana
Consorzio di Bonifica Fra Mella e Chiese
Consorzio di Bonifica Biscia Chiodo Prandona
Consorzio di Miglioramento Fondiario di II° grado Adda Serio
Consorzio di Bonifica Muzza Bassa Lodigiana
Consorzio di Bonifica Medio Chiese
Consorzio di Bonifica Sinistra Oglio
Consorzio di Miglioramento Fondiario di II° grado Mella e Fontanili
Consorzio di Bonifica Naviglio Vacchelli
Consorzio di Bonifica Fossa di Pozzolo
Consorzio di Bonifica Media Pianura Bergamasca
Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi
Associazione Irrigazione Est Sesia

Il censimento dei fontanili ha consentito un'approfondita valutazione del fenomeno, ai fini anche di una più completa conoscenza del territorio e dei relativi beni ambientali, oltre ad aver fornito indicazioni metodologiche e progettuali sulla loro gestione e salvaguardia.

E' importante ricordare come la corretta gestione e rivalutazione, e, laddove necessaria, la conseguente riattivazione di questi biotopi, potrebbe rappresentare per i consorzi di bonifica ed irrigazione e per molti agricoltori una fonte di acque pulite a prezzi relativamente bassi.

2- Sintesi delle informazioni disponibili

Partendo dalla mancanza di un quadro conoscitivo unitario, omogeneo ed aggiornato dei fontanili del territorio lombardo; sono stati analizzati e sistematizzati i numerosi studi e le differenti banche dati disponibili.

E' necessario precisare come la bibliografia inerente i fontanili sia particolarmente articolata e differenziata nelle finalità delle numerose pubblicazioni e nella suddivisione delle diverse zone. Allo stato attuale sono pochi gli studi che affrontano il tema a livello regionale; nello specifico si fa riferimento agli studi del Museo Civico di Scienze Naturali di Bergamo "E. Caffi" e al lavoro del dott. Antignati svolto, però, principalmente su base bibliografica.

Maggiori sono gli studi e le ricerche settoriali o locali; quest'ultimi presentano una maggior completezza essendo spesso correlati da una campagna di rilievo o da una ricerca sul campo.

Il confronto tra i diversi lavori ha permesso di fare delle considerazioni sulla metodologia di rilevamento dei fontanili e sulla modalità di redazione della scheda per la raccolta dei dati; in particolare si citano: "*I fontanili: una risorsa idrica ed ambientale. Tutela e gestione in Lomellina*" a cura di Claudia Baratti e "*Indagine conoscitiva sul sistema dei fontanili del Parco Sud Milano*" a cura del WWF, con una ricerca del dott. Gomarasca.

Il testo dell'arch. Baratti nasce dall'esigenza di poter disporre d'elementi validi per un'approfondita valutazione della consistenza e dello stato ambientale in cui si trovano i fontanili della Lomellina.

Il censimento operato dall'Est Sesia ha permesso di individuare 166 fontanili, per i quali è stata compilata una scheda riassuntiva durante i sopralluoghi. “.... *L'analisi comparata dei dati rilevati sullo stato di manutenzione e sulle attività di spurgo conferma il permanere di un discreto interesse per i fontanili come fonti idriche: alla data del censimento 87 fontanili dimostravano una costante attività di manutenzione, mentre 36 manifestavano segni di abbandono.*”. Le informazioni rilevate durante il censimento hanno fornito indicazioni sugli effetti della manutenzione e degli interventi di recupero operati dall'Associazione Irrigazione Est Sesia sui fontanili. Il lavoro è un'ottima fonte metodologica per l'analisi storico-architettonica, ambientale e paesaggistica del fenomeno, per gli aspetti legati al censimento; ed, infine, per le proposte circa le linee guida per la tutela e valorizzazione dei fontanili. Tra gli studi più recenti si citano “*I fontanili della Provincia di Cremona*” a cura di Franco Zavagno e Giovanni D'Auria e “*Progetto di verifica degli aspetti naturalistici, paesaggistici e idrologici dei fontanili della pianura bergamasca, con formulazione di proposte gestionali finalizzate alla loro conservazione e valorizzazione*” a cura della Provincia di Bergamo e dal Centro Studi sul Territorio (CST) dell'Università di Bergamo.

La Provincia di Cremona, a partire dai numerosi studi in materia, ha stilato un elenco di biotopi da censire; la documentazione predisposta è stata verificata su campo in due campagne di rilevamento (1998 e 2003-2004). Nell'ambito del censimento sono stati schedati oltre 230 fontanili localizzati prevalentemente nella parte alta della provincia. Lo studio, infine, aggiornando la situazione della provincia, risulta interessante soprattutto per la presenza di schede di ogni fontanile censito, contenenti numerose informazioni di dettaglio.

Lo studio della Provincia di Bergamo e del CST ha considerato in via preliminare i parametri delle singole ricerche svolte in provincia di Bergamo paragonandoli; l'aggregazione dei dati elaborati ha permesso di approntare un elenco di 247 capifonte verificati con una dettagliata indagine di campagna. L'indagine condotta dal CST ha verificato e integrato la conoscenza dello stato di fatto anche attraverso l'analisi degli aspetti naturalistici, ecologici e paesaggistici. Il lavoro ricostruisce attraverso l'analisi cartografica e di altre fonti documentarie il quadro storico dei fontanili alle diverse soglie cronologiche.

Anche la situazione delle banche dati disponibili si presentava articolata e differente soprattutto per le aree di copertura delle stesse. Sinteticamente le banche dati analizzate comprendono:

- shapefile dei fontanili contenuti nel progetto Basi informative per la Pianura curato dall'ERSAF (Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste);
- fontanili contenuti nel PTUA (Piano Tutela e Uso delle Acque) a partire dalla quale è stato creato uno shapefile sulla base dei valori di coordinate contenute nella banca dati;
- fontanili e aste del progetto SIBITeR (Sistema Informativo per la Bonifica, l'Irrigazione e il Territorio Rurale);
- censimento dei Fontanili della Provincia di Cremona, shapefile dei punti e schede pdf delle informazioni allegate;
- censimento dei Fontanili della Provincia di Milano (studio condotto per conto del WWF dal Dr. Gomarasca);
- shapefile delle teste dei fontanili della Provincia di Milano (studio condotto per il settore territorio dal Politecnico di Milano).

A partire dai dati disponibili si è provveduto ad avviare la fase di analisi delle stesse e la relativa omogeneizzazione/selezione dei dati presenti. Si è ritenuto opportuno utilizzare come fonte principale lo shape file del progetto SIBITeR, in quanto costituisce la fonte più aggiornata e con la maggiore copertura a livello regionale.

Si precisa che lo shape file è il risultato di precedenti lavori e progetti svolti anche da URBIM (Unione Regionale Bonifiche Irrigazioni Miglioramenti fondiari) su incarico della Direzione Generale (DG) Agricoltura della Regione Lombardia e di concerto con LISPA (Lombardia Informatica SPA); lo shape contiene anche le informazioni dello studio compiuto dal dott. Antignati con l'aggiornamento delle aree di competenza del Parco Agricolo Sud Milano e dell'AIES (Associazione Irrigazione Est Sesia). Infine nello shape SIBITeR sono riportate anche le indicazioni raccolte per il progetto SIGRIA (Sistema Informativo per la Gestione delle Risorse Idriche in Agricoltura): i capi-

fonte individuati con il codice SIG costituiscono in alcuni casi un aggiornamento/perfezionamento dei dati elaborati in base a studi bibliografici; in altri casi definiscono il punto di inizio della gestione consortile e non possono pertanto essere considerati come punti reali. Queste situazioni particolari sono state evidenziate in fase di analisi.

Per le aree in provincia di Cremona e Bergamo l'analisi è stata svolta confrontando anche gli shape file relativi ai lavori delle Province, che a tutti gli effetti costituiscono le informazioni più recenti.

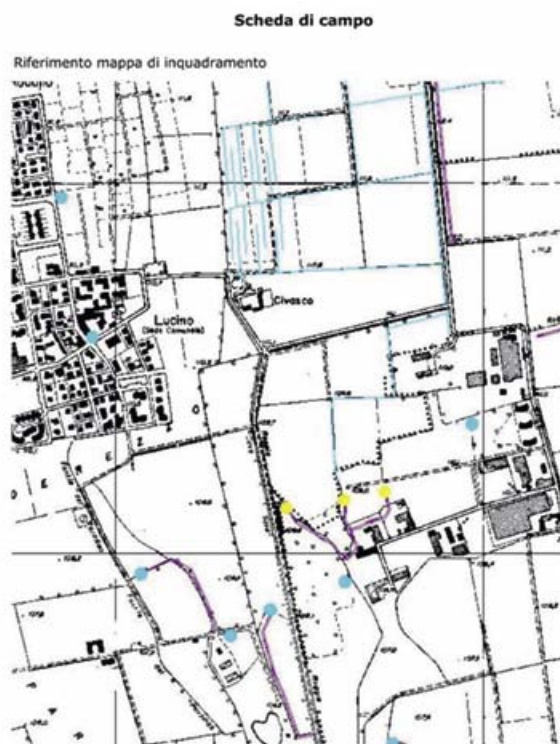
Il confronto ha permesso di avere un ulteriore riscontro del censimento fatto da URBIM e i Consorzi di bonifica (d'ora innanzi chiamati CdB) partner del progetto. In particolare è stato possibile individuare punti non presenti nello shape file SIBITeR o attribuire il nome più corretto od ancora avere riscontro circa l'estinzione di alcuni fontanili.

Per i fontanili presenti nel comprensorio n° 10 Mella e dei Fontanili URBIM ha raccolto gli shape file inerenti i fontanili gestiti dal CdB Biscia Chiodo Prandona e quelli gestiti dal Consorzio di Miglioramento Fondiario (CMF) II° Mella e dei Fontanili; in alcuni casi si tratta di punti già presenti nello shape; in altri di punti non individuati ed aggiunti a seguito del rilievo. Per il comprensorio Fossa di Pozzolo i punti sono stati aggiunti a seguito del rilievo e su indicazione del CdB; in questo comprensorio non erano individuati punti in alcuna delle banche dati analizzate.

3- Campagna di rilevamento

Partendo da alcune schede già utilizzate per altri censimenti, principalmente del lavoro del WWF e del censimento dell'Associazione Irrigazione Est Sesia, è stata elaborata una proposta di scheda, valutata congiuntamente dai partecipanti al progetto. La scheda corretta e semplificata è stata analizzata, in via preliminare, dai tecnici di alcuni Consorzi a seguito dell'inserimento delle osservazioni ed integrazioni e successivamente approvata dai partners del progetto FonTe.

La scheda di rilievo elaborata è composta di 4 parti:



Indicazione della posizione del fontanile sulla mappa in scala 1:10.000

Data del rilievo 01/12/09

Incaricato del rilievo CdB Muzza Bassa Lodigiana + URBIM

Consorzio di bonifica CdB Muzza Bassa Lodigiana

I parte: dati "anagrafici" e cartografia in scala 1:10.000

II parte: caratteristiche del fontanile

III parte: caratteristiche della testa

IV parte: caratteristiche dell'asta.

E' stato stabilito che la scheda non richiedesse specifiche conoscenze di tipo naturalistico per la sua compilazione così da poter essere compilata autonomamente da parte del personale del Consorzio. A seguito dell'elaborazione della scheda di rilievo si è proceduto alla presentazione della stessa ai vari Consorzi partner del progetto e sono state evidenziate le problematiche specifiche di ciascun consorzio e le modalità di esecuzione del rilievo. Si è scelto, laddove possibile di organizzare una prima fase di riunioni con più consorzi, raggruppati per provincia o ambito di riferimento, e successivamente una fase puntuale preliminare al rilievo.

I consorzi hanno avanzato la necessità/possibilità di inserire delle note all'interno della scheda per specificare o dettagliare meglio situazioni particolari.

Successivamente sono state individuate le aree per ciascun consorzio da cui partire per il censimento

ed evidenziate le condizioni di gestione dei vari fontanili e le relative caratteristiche (sommariamente numero di fontanili ancora sfruttati/bili a fini irrigui, eventuali influenze o variazioni dovute a presenza di pozzi etc.). Tra le problematiche riferibili al censimento è emersa, soprattutto per la provincia di Brescia, la preponderanza della gestione privata su quella consortile.

Si riportano in sintesi alcune situazioni di particolare interesse suddivise per ambito consortile.

Associazione Irrigazione Est Sesia: le aree più significative ricadono nella provincia di Pavia ed all'interno dell'ambito del Parco del Ticino. La presenza del Parco ha permesso di preservare habitat di notevole interesse naturalistico. Tra i fontanili rilevati ve ne sono anche alcuni ricadenti all'interno di Zone di Protezione Speciale (ZPS), si citano la ZPS della Garzaia del Bosco Basso e della Garzaia di Villa Biscossi.

Est Ticino Villoresi: sono numerosi gli studi e le campagne di rilievo dei fontanili ricadenti nel comprensorio,

è stato, perciò, necessario procedere preliminarmente al rilievo su campo all'analisi dei differenti strati informativi (wwf, provincia, SIBITeR...) disponibili così da individuare le informazioni più attendibili. La gestione del CdB è frammentata; stante questa gestione e la scarsità di informazioni presenti nel consorzio, si sono tenute delle riunioni per verificare le informazioni già note e procedere al rilievo concentrandosi in particolar modo sull'area di competenza del canale Villoresi.

Durante i rilievi in quest'area si è proceduto anche a svolgere degli incontri con gli agricoltori al fine di chiarire eventuali discordanze sulle informazioni pregresse e per verificare l'esistenza dei punti individuati. Le riunioni con gli agricoltori sono state di grande utilità soprattutto per la comprensione dei toponimi più corretti e delle interconnessioni e confluenze tra i vari fontanili ed i canali gestiti dal Consorzio. Successivamente il CdB ha individuato due aree prioritarie: zona Vittuone e Settimo sul quale sono stati svolti ulteriori rilievi.

Media Pianura Bergamasca: le zone più significative per numero di capifonte, anche gestiti direttamente dal CdB, e stato di conservazione si trovano al limite del confine comprensoriale in un'area contigua con fontanili dell'Adda-Serio e con quelli di competenza del Naviglio Vacchelli. Il lavoro si è concentrato nei comuni di Caravaggio, Mozzanica, Romano di Lombardia, Martignano, Palosco, Spirano-Pognano. Una zona di rilevante interesse ricade nei comuni di Spirano e Pognano in coincidenza con la presenza del "PLIS dei fontanili e dei boschi". L'istituzione del Parco Locale di Interesse Sovracomunale (PLIS) ha permesso la salvaguardia dell'habitat e delle teste, anche se vi sono alcuni punti ormai del tutto asciutti.



Consorzio di Miglioramento Fondiario di II° grado Adda-Serio: il consorzio gestisce direttamente un'area di 23.504 ha, all'interno di questa superficie la zona irrigata principalmente con acque sorgentizie si trova al limite del confine comprensoriale in un'area contigua con il CdB Media Pianura Bergamasca.

Muzza Bassa Lodigiana: per quanto riguarda l'area sottesa al Consorzio sono stati censiti tutti i fontanili ricadenti nella stessa ampliando l'analisi ai comuni posti a cavallo del confine comprensoriale e ricadenti nel Parco Agricolo Sud Milano.

Si segnala che i comuni di Settala e Liscate hanno subito fortissime modificazioni e molti fontanili sono definitivamente estinti o non più raggiungibili.

Sinistra Oglio: le aree gestite direttamente dal consorzio ricadono nei comuni di Cossirano, Trenzano e Macclodio. Alcuni fontanili irrigano territori extracomprendoriali (CdB Mella e dei Fontanili).

Biscia Chiodo Prandona: il consorzio gestisce un territorio di 3.150 ha all'interno del comprensorio 10 - Mella e dei fontanili, si precisa che le superfici irrigate dai due consorzi non si sovrappongono. La presenza di risorgenze all'interno dell'area irrigata è stata condizionata fortemente dall'utilizzo dei pozzi. Le teste dei fontanili si trovano anche nel territorio del Sinistra Oglio.

Consorzio di Miglioramento Fondiario di II° Mella e dei fontanili: ha individuato area di maggior interesse nella zona della roggia Gambaresca. Il Consorzio gestisce direttamente quattro fontanili, che sono stati censiti. Si segnala in particolare il sistema della Calina: alta e bassa.

Naviglio Vacchelli: dopo una prima fase di censimento dei fontanili gestiti direttamente dal consorzio, la campagna di rilievo è stata ampliata ai capifonte ricadenti nel comprensorio con particolare attenzione all'area di Fontanella, di grande interesse per numero e valenza dei capifonte presenti.

Medio Chiese: aree più interessanti sono comprese nei comuni di Carpenedolo ed Acqua Fredda; si segnala che la maggior parte dei fontanili non sono gestiti direttamente dal Consorzio.

Fra Mella e Chiese: anche in quest'ambito consortile la problematica principale è legata alla gestione frammentaria dei fontanili ed alla presenza di numerosi consorzi o enti privati.

Tra i fontanili gestiti dal CdB si segnala che alcuni sono stati oggetto di finanziamento con Piano di Sviluppo Rurale 2000-2006 nei comuni di Visano ed in quello di Ghedi.

I fontanili oggetto di intervento nel comune di Visano sono tutti attivi, l'area intorno è sfruttata fortemente per l'agricoltura ed i capofonte rappresentano gli ultimi elementi connotati dalla vegetazione.

Per il comune di Ghedi l'intervento di recupero, con l'utilizzo di tecniche d'ingegneria naturalistica, è stato finalizzato al ripristino delle forme e delle quote dei fontanili ed al ravvenamento delle sorgive, mediante l'impianto di nuovi tubi acquiferi.

Si tratta di sette fontanili: nell'immagine il recupero del fontanile Cascina Giacomina.

Alta e Media Pianura Mantovana: il Consorzio ha fornito per alcuni fontanili copia della documentazione stori-



ca inerente (descrizione della testa corredata di disegni, asta e numero e caratteristiche delle polle o della modalità di alimentazione).

Si segnala che alcuni fontanili ricadenti nel comprensorio allo stato attuale sono definibili come zone umide in quanto dal capofonte originale (oggi difficilmente individuabile) si è originata una vera e propria fascia con acque affioranti e vegetazione di pregio.

Fossa di Pozzolo: il CdB ha fornito una descrizione degli anni 60 con dettaglio dei differenti fontanili. I punti individuati non erano stati precedentemente censiti in nessuno studio.

La campagna di rilevamento condotta dai consorzi di bonifica e coordinata da URBIM ha portato alla raccolta di informazioni relativamente a 316 teste facenti capo a 250 fontanili in gran parte gestiti direttamente dai Consorzi. Tale lavoro è stato affiancato da quella svolta direttamente dai tecnici laureati incaricati dal Dipartimento di Ingegneria Agraria che in analogia con quanto fatto da URBIM hanno provveduto a:

- individuare i fontanili contenuti nelle banche dati disponibili;
- uscire sul campo per la verifica dell'esistenza e la raccolta delle informazioni per i fontanili accessibili;
- verificare l'esistenza per mezzo delle fotografie aeree per i fontanili non accessibili perché inclusi in proprietà private con divieto di accesso o comunque non raggiungibili;
- inserire tali informazioni nel GIS (Geographical Information System).

Questa seconda fase di rilievo si è svolta in gran parte nei mesi da marzo a ottobre 2010 ed è stata completata per i circa 300 fontanili più difficilmente raggiungibili nei mesi da marzo a ottobre del 2011.

Complessivamente sono stati verificati 1647 punti derivati da:

- banca dati SIBITeR, 1346 punti;
- Basi Informative della Pianura: 95 punti integrativi della banca dati SIBITeR
- Base Informativa della Provincia di Cremona: 106 punti integrativi della banca dati SIBITeR

A questi sono stati aggiunti 100 nuovi punti per una totale di 1647 punti inseriti nella banca dati. Si riportano di seguito due tabelle riassuntive, con il totale delle teste di fontanile censite e classificate.

<i>Consorzio / Comprensorio</i>	<i>Teste di fontanile censite</i>
Consorzio di Bonifica Media Pianura Bergamasca	122
Consorzio di Bonifica Muzza Bassa Lodigiana	46
Consorzio di Bonifica Sinistra Oglio	65
Consorzio di Bonifica fra Mella e Chiese	89
Consorzio di MF di II° grado Mella e Fontanili*	32
Consorzio di Bonifica Medio Chiese	24
Associazione Irrigazione Est Sesia	176
Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi	724
Consorzio di Bonifica Naviglio Vacchelli	132
Consorzio di M F di II° grado Adda Serio	207
Consorzio di Bonifica Alta e Media Pianura Mantovana	20
Consorzio di Bonifica Fossa di Pozzolo	11
Consorzio di Bonifica Colli Morenici del Garda	2
Totale generale	1650

Tabella 1. Totale delle teste di fontanile censite suddivise per ambito consortile (sia private sia gestite direttamente dai consorzi)

* nel numero sono compresi 10 fontanili inclusi nel territorio del Consorzio Biscia Chiodo Pradona, territorio compreso nel Consorzio di M F di II° grado Mella e Fontanili

<i>Provincia</i>	<i>Teste di fontanile censite</i>
Provincia di Bergamo	206
Provincia di Brescia	211
Provincia di Cremona	245
Provincia di Lodi	21
Provincia di Mantova	30
Provincia di Milano	759
Provincia di Pavia	176
Totale generale	1648*

Tabella 2. Totale delle teste di fontanile censite suddivise per provincia (sia private sia gestite direttamente dai consorzi)

* sono da aggiungere due fontanili che ricadono nella provincia di Verona per arrivare al numero finale di 1650

4- Il GIS, Geographical Information System

La definizione del modello di un GIS è un'astrazione e generalizzazione della realtà che incorpora soltanto le proprietà che si pensa siano rilevanti per l'applicazione e consente di stabilire, in funzione della scala di rappresentazione e degli scopi dell'applicazione, i contenuti, le regole e le relazioni tra i diversi elementi, in modo da riuscire a rappresentare nel miglior modo possibile (per una determinata situazione) gli oggetti del mondo reale.

Il modello concettuale di un GIS definisce le entità (e i processi) da rappresentare e loro caratteristiche spaziali. Il modello logico stabilisce le modalità di organizzazione delle entità e delle loro relazioni, in modo orientato all'implementazione del sistema. Il modello fisico descrive in dettaglio l'organizzazione fisica delle banche dati (i file, gli archivi e le tabelle).

Per quanto riguarda il GIS del Sistema dei fontanili lombardi il modello concettuale e logico stabilito fa riferimento all'entità testa e alle sue modalità di rappresentazione:

ENTITÀ	MODALITÀ DI RAPPRESENTAZIONE	DATABASE
Teste	Punti	SI

Per la costruzione del GIS dei Fontanili Lombardia si è deciso di utilizzare il software ArcGIS 10 della ditta americana ESRI. ArcGIS è il software GIS più diffuso, sia in Italia che all'estero, ed è anche quello utilizzato dalla Regione Lombardia.

La banca dati GIS è stata, quindi, costituita da un tematismo in formato "ESRI ArcView Shapefile" e "ESRI personal geo-database" delle teste del sistema dei fontanili. Tale banca dati risulta quindi completamente compatibile con quelle del Geodatabase della Regione Lombardia.

Al fine di contenere tutte le informazioni raccolte con la scheda di rilevamento la banca dati è stata strutturata come segue:

Base cartografica di riferimento Carta Tecnica Regionale della Regione Lombardia, 1:10.000, raster.
Elementi acquisiti Testa del fontanile (elemento puntuale):

- acquisizione dalla banca dati SIBITeR
- acquisizione della banca dati Basi Informative Ambientali della Pianura
- acquisizione dalle banche dati predisposte nell'ambito dei censimenti provinciali, ove disponibili, per i punti non compresi nelle banche dati precedenti
- digitalizzazione ex novo sulla base della localizzazione effettuata sulla CTR durante il rilievo diretto per i punti non compresi nella banca dati

Formato fisico dei files Arcview Shape File

Sistema di riferimento I dati sono forniti sia nel sistema di riferimento nazionale Gauss-Boaga-Roma 40 che nel sistema UTM-WGS84.

Denominazione teste_fontanili.shp

I contenuti della banca dati sono specificati nella tabella seguente:

Teste_fontanili.shp	
<i>Descrizione</i>	Shapefile delle teste dei fontanili
<i>Realizzazione</i>	Rilievo diretto e censimenti provinciali
<i>Tipologia</i>	Shapefile di punti
<i>Attributi</i>	Sono presenti i seguenti campi:
<i>ID</i>	Numero progressivo del fontanile
<i>Cod_fonte</i>	Codice assegnato nell'ambito del progetto FonTE (= ID)
<i>Cod_sibiter</i>	Codice assegnato nella banca dati SiBiTer
<i>Cod_CR</i>	Codice assegnato nella banca dati della Provincia di Cremona
<i>Nome</i>	Nome del fontanile
<i>Località</i>	Nome della località in cui si trova il fontanile
<i>Comune</i>	Comune in cui si trova il fontanile
<i>Cod_istat</i>	Codice Istat del Comune di appartenenza
<i>PV</i>	Sigla della Provincia di appartenenza
<i>Consorzio</i>	Consorzio di Bonifica di appartenenza
<i>Rilevatore</i>	Ente incaricato del rilievo
<i>Data_rilie</i>	Data del rilievo
<i>Stato</i>	Attivo
	Inattivo
	Interrato
	Non esistente
	Non accessibile
	No data (informazione non disponibile)
<i>Accesso</i>	Strada carrabile
	Percorso ciclo-pedonale
	Strada rurale
	Nessun percorso tracciato
	No data (informazione non disponibile)
<i>Ele_pregio (tipo di elementi di pregio posti nelle vicinanze)</i>	Naturalistico
	Storico-architettonico
	Nessuno
	No data (informazione non disponibile)
<i>Nom_pregio (nome dell'elemento)</i>	Nome
	Nessuno
	No data (informazione non disponibile)
<i>Contesto (contesto territoriale in cui si trova il fontanile, sono possibili anche risposte multiple)</i>	Area abbandonata
	Area agricola
	Area estrattiva
	Area industriale
	Area naturale
	Centro urbano
	Campo da golf
	No data (informazione non disponibile)
<i>Uso_suolo (sono possibile risposte multiple)</i>	Bosco
	Pioppeto
	Coltivazione arborea
	Prato permanente
	Marcita
	Seminativo
	Risaia
	Incolto
	Siepi e filari
	Parco urbano
	Edificato residenziale
	Edificato produttivo

Ai fontanili non esistenti è stato assegnato il Cod_fonte 9999

<i>Attributi (continua)</i>	<i>Scarichi (presenza di scarichi nel fontanile, sono possibili risposte multiple)</i>	Acque luride
		Reflui
		Inerti
		RSU
		Altro
		Nessuno
		No data (informazione non disponibile)
	<i>Dati_idro (dati idrologici)</i>	Alimentazione continua
		Asciutte periodiche
		Permanentemente asciutto
		No data (informazione non disponibile)
	<i>Pres_acqua (presenza di acqua)</i>	SI
		NO
		No data (informazione non disponibile)
	<i>Forma (forma della testa)</i>	Indicazione della forma della testa
		No data (informazione non disponibile)
	<i>Veg_intorno (copertura vegetale dell'intorno, sono possibili risposte multiple)</i>	Erbacea
		Arbustiva
		Arborea
		Nessuna
		No data (informazione non disponibile)
	<i>Lung_m_ (lunghezza della testa in metri)</i>	valore
		0,00 indica informazione non disponibile
	<i>H_scavo_m_ (profondità della testa in metri)</i>	valore
		0,00 indica informazione non disponibile
	<i>H_acqua_m_ (altezza livello acqua in metri)</i>	valore
		0,00 indica informazione non disponibile
	<i>Aliment (modalità di alimentazione)</i>	Descrizione della modalità di alimentazione
		No data (informazione non disponibile)
	<i>Dest_acqua (utilizzo delle acque)</i>	Irrigazione
		Altro impiego (specificato)
		No data (informazione non disponibile)
	<i>Substrato (sono possibili risposte multiple)</i>	Ciottoli
		Ghiaia
		Sabbia
		Limo
		Cemento
		No data (informazione non disponibile)
	<i>Tipo_spond</i>	Franosa
		Compatta
		Cementata
		No data (informazione non disponibile)
	<i>Veg_spond (presenza di vegetazione sulle sponde)</i>	SI
		NO
		No data (informazione non disponibile)
	<i>Valenza (indicazione di sintesi della possibile valenza del fontanile)</i>	Irrigua
		Ecologica
		Ricreativa
		Nessuna
		No data (informazione non disponibile)
	<i>N° teste</i>	Indicazione del numero
		0 (informazione non disponibile)
	<i>Dati</i>	Indicazione della completezza dei dati raccolti
	<i>Foto</i>	SI
		NO
	<i>Origine (indicazione della fonte dei dati)</i>	SiBiTer
		Basi Informative Pianura
		Banca dati Cremona
		Nuovo punto
	<i>Note</i>	Note integrative

5- Consistenza e caratteristiche dei fontanili

Il censimento mediante rilievo diretto dei fontanili, la strutturazione del GIS e l'inserimento dei dati al suo interno hanno permesso la costituzione di una banca dati con 1650 record e ben 41 campi in grado di darci un quadro sufficientemente aggiornato e significativo dello stato dei fontanili lombardi; è stato in questo modo garantito un livello minimo omogeneo di informazioni comuni e disponibili per l'intero territorio regionale, livello minimo omogeneo che, almeno in parte, compensa il minor dettaglio di questa campagna di rilievo rispetto agli studi condotti con tempi e metodologie differenti da alcune delle provincie interessate dalla presenza dei fontanili.

Il primo dato significativo è certamente quello relativo allo Stato dei punti censiti, stato riassunto nella tabella 3 e nella mappa di figura 12.

STATO	Teste di fontanile censite
Attivo	980
Inattivo	165
Interrato	14
Non accessibile	48
Non esistente	443
Totale	1650

Tabella 3. Stato delle teste di fontanile censite

PROVINCIA	ATTIVI	INATTIVI	INTERRATI	NON ACCESSIBILI	NON ESISTENTI
Bergamo	145	26	5	7	23
Brescia	158	22	3	6	22
Cremona	239	1		1	4
Lodi	14	1			6
Milano	292	99		9	359
Mantova	24	3			3
Pavia	106	13	6	25	26
Verona	2				
Totale	980	165	14	48	443

Tabella 4. Stato delle teste di fontanile censite, suddivise per Provincia di appartenenza

L'elemento di maggior interesse è rappresentato dall'elevato numero di fontanili ancora presenti sul territorio: sommando attivi, inattivi e interrati si arriva a oltre 1150 punti comunque visibili sul territorio.

Nel valutare i fontanili non esistenti è bene sottolineare che in questa classe sono compresi tutti quei punti già inseriti nella banca dati per i quali non è stato trovato alcun riscontro sul territorio comprendenti quindi sia i fontanili esistenti e successivamente scomparsi sia quelli eventualmente inseriti in maniera erronea all'interno della banca dati stessa; ciò è particolarmente vero per i punti ricavati dalla banca dati SIBITeR che essendo il risultato dell'unione di fonti differenti ha in alcuni casi evidenziato incongruenze e imprecisioni.

In questa classe certamente sono ben in evidenza gli oltre 350 fontanili non esistenti compresi nel territorio della Provincia di Milano; ciò è solo in parte giustificato dal fatto che poco meno del 50% dei punti verificati (759 su 1650) appartengono alla provincia di Milano; è infatti ben maggiore la percentuale relativa alla provincia di Milano considerando i soli fontanili scomparsi: oltre l'80% (359 su 443). Sicuramente occorre considerare l'elevato livello di espansione urbana che caratterizza il territorio della Provincia soprattutto nell'area attorno al capoluogo.

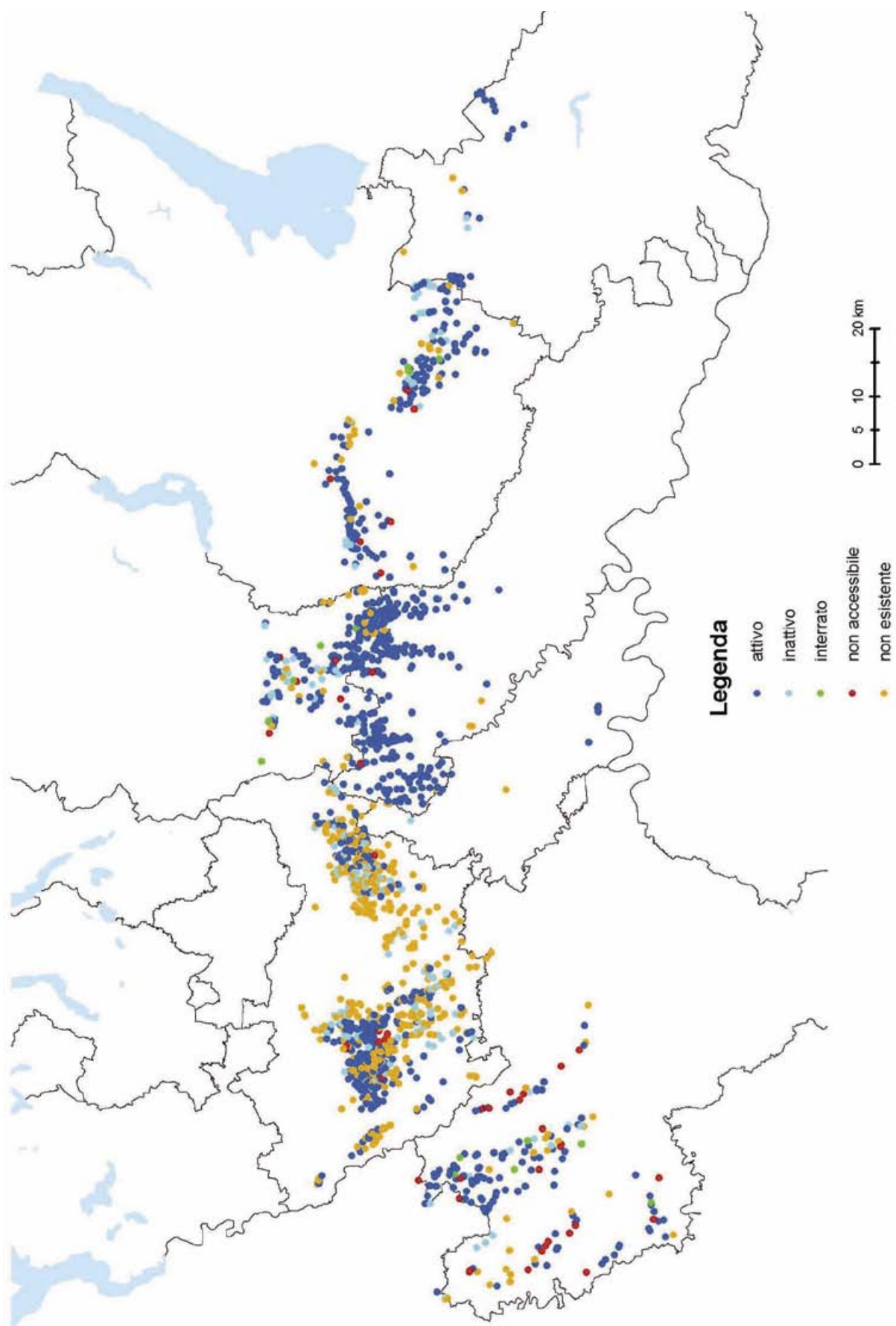


Figura 12. Stato dei fontanili lombardi

Questo dato è confermato dal fatto che 89 fontanili scomparsi si trovano in ambito urbano. Trascurabile è invece il fenomeno dell'interramento dei fontanili che riguarda solo tre provincie e con numeri contenuti. Ciò è probabilmente dovuto al fatto che le operazioni di copertura degli scavi richiedono tempi e costi significativi, giustificabili solo con un cambio di destinazione dell'area. Laddove invece permane l'uso agricolo è più frequente l'abbandono del fontanile stesso che diviene progressivamente inattivo andando a costituire un'area umida naturale come specificato nel capitolo relativo al biotopo fontanile; ciò anche tenuto conto del fatto che spesso l'interramento del fontanile determina la creazione di superfici coltivabili con caratteristiche comunque deficitarie rispetto a quelle dell'area circostante come evidenziato nell'esempio di figura 13

Come riportato nella tabella 4, sette su tredici sono le provincie lombarde in cui sono presenti i fontanili (tutte le provincie che presentano territori di pianura al loro interno). Il grafico di figura 14 mostra la suddivisione fra le provincie dei fontanili lombardi ancora esistenti (attivi, inattivi, interrati, non accessibili).

I fontanili sono distribuiti fra 188 comuni e i comuni con il maggior numero di fontanili si trovano nella zona est della regione: Soncino, Fontanella e Ghedi presentano ciascuno circa 40 fontanili mentre Milano, nonostante abbia perso oltre la metà dei suoi fontanili rimane il comune della provincia con il maggior numero. Questi numeri devono naturalmente essere correlati alla superficie comunale e così facendo i comuni con la maggior densità di fontanili sono Pognano e Fontanella in provincia di Bergamo, Cislano, Liscate e Cusago in provincia di Milano, e Torlino Vimercati in provincia di Cremona; tutti con la presenza di un fontanile ogni circa 40 ha di superficie comunale.

Nella figura 14 è riportata la suddivisione dei fontanili per provincia: nel grafico superiore sono compresi tutti i fontanili ancora presenti (attivi, non attivi, interrati, non accessibili), nel grafico inferiore i soli fontanili attivi.

Come si può vedere dai valori riportati, le percentuali non cambiano in maniera significativa passando dal considerare tutti i fontanili ancora presenti ai soli fontanili attivi a sottolineare la sostanziale omogeneità, una volta esclusi i fontanili non esistenti, nella distribuzione territoriale dei fontanili in base allo stato in cui si trovano.



Figura 13. Esempio di fontanile interrato, sopra, e scomparso per progressivo interrimento, sotto

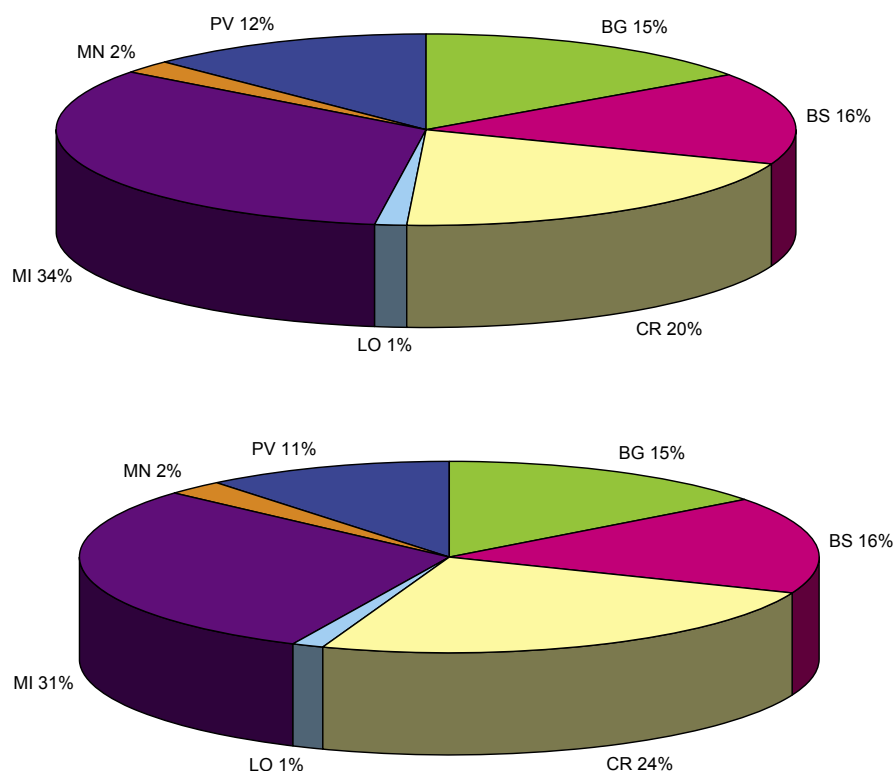


Figura 14. Suddivisione percentuale dei fontanili fra le province. Nel grafico superiore sono compresi i 1207 fontanili ancora esistenti, in quello inferiore solo i 980 fontanili attivi.

Il contesto prevalente all'interno del quale si trovano i fontanili è ancora quello agricolo come indicato nella tabella 5. Circa 3 fontanili su quattro si trovano in un contesto completamente agricolo, se si considerano poi le aree di transizione fra contesto rurale ed altri ambiti la percentuale sale all'83%. Ad ulteriore testimonianza della origine agricola dei fontanili è il numero ridotto di punti compresi in area naturale, si tratta spesso di aree agricole rinaturalizzate in tempi relativamente recenti. La percentuale non trascurabile in ambito urbano è dovuta sia all'espansione degli insediamenti sia al fatto che, come sottolineato nel capitolo 1, la funzione agricola è in parte indipendente dal contesto in cui si trova la testa: risalite d'acqua in punti compresi anche negli antichi centri abitati potevano essere utilizzate per scopi diversi da quelli irrigui e comunque indirizzate verso i terreni agricoli a valle.

Contesto	%
Area agricola	77,46%
Area Naturale	4,39%
Area industriale	2,07%
Centro urbano	6,30%
Area agricola/centro urbano	2,40%
Area agricola/area naturale	1,49%
Area agricola/area industriale	2,40%
Centro urbano/area industriale	0,17%
Campo da Golf	0,17%
No data	3,15%
Totale	100,00%

Tabella 5. Contesto in cui sono inserite le teste di fontanili esistenti

Anche la destinazione delle acque conferma la funzione agricola dei fontanili, con circa tre quarti dei fontanili ancora utilizzati per l'irrigazione dei terreni (tabella 6). E' un dato sicuramente importante anche se il contributo in termini quantitativi, non misurato nell'ambito della raccolta dati, appare estremamente variabile anche per fontanili fra loro vicini come meglio spiegato nel capitolo successivo.

E' altrettanto importante sottolineare che poco meno del 10% dei fontanili non è utilizzato: è probabile che in mancanza di interventi di recupero e valorizzazione, questi fontanili siano destinati ad essere abbondanti.

Impiego delle acque	%
Irrigazione	76,41%
Nessun utilizzo	8,61%
Alimentazione zone umide naturali	3,64%
Itticoltura	1,24%
Pesca sportiva ed altre funzioni ricreative	0,50%
No data	9,60%
Totale	100,00%

Tabella 6. Contesto in cui sono inserite le teste di fontanili esistenti

Con riferimento alla modalità di funzionamento dei fontanili dati significativi sono rappresentati dalla presenza permanente o meno dell'acqua e dalla modalità di alimentazione dati riportati rispettivamente nel grafico di figura 15 e nella tavola di figura 16.

Oltre la metà dei fontanili presenta acqua durante tutto l'anno, mentre poco più del 25% va incontro ad asciutte periodiche. La distribuzione spaziale riportata nella figura 16 mostra una maggior concentrazione dei fontanili che non presentano acqua in maniera continua, quindi soggetti ad asciutte periodiche o permanentemente asciutti, nella parte alta della fascia delle risorgive.

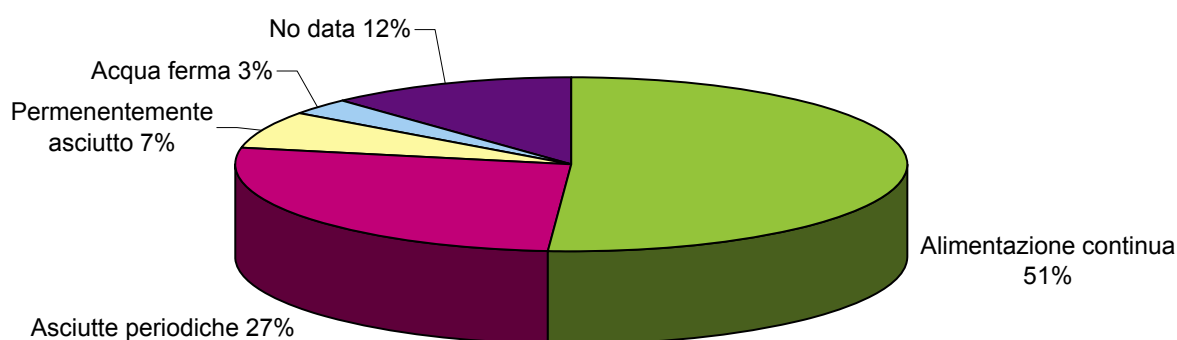


Figura 15. Suddivisione percentuale dei fontanili in base alla presenza di acqua nel corso dell'anno.

Come indicato nella tabella 3, i fontanili compresi in fondi chiusi sono meno di 50; sono questi i fontanili che non è stato possibile censire nel corso del progetto. Questo non significa che tutti gli altri siano facilmente accessibili; numerosi sono infatti i fontanili posti nel mezzo di campi e risaie o aree boscate più o meno abbandonate che non hanno alcun accesso tracciato. La valutazione di questo parametro è molto importante ai fini della possibile funzione ricreativa dei fontanili.

Nel corso del rilievo sono state indicate le possibili modalità di accesso ai fontanili, modalità rias-

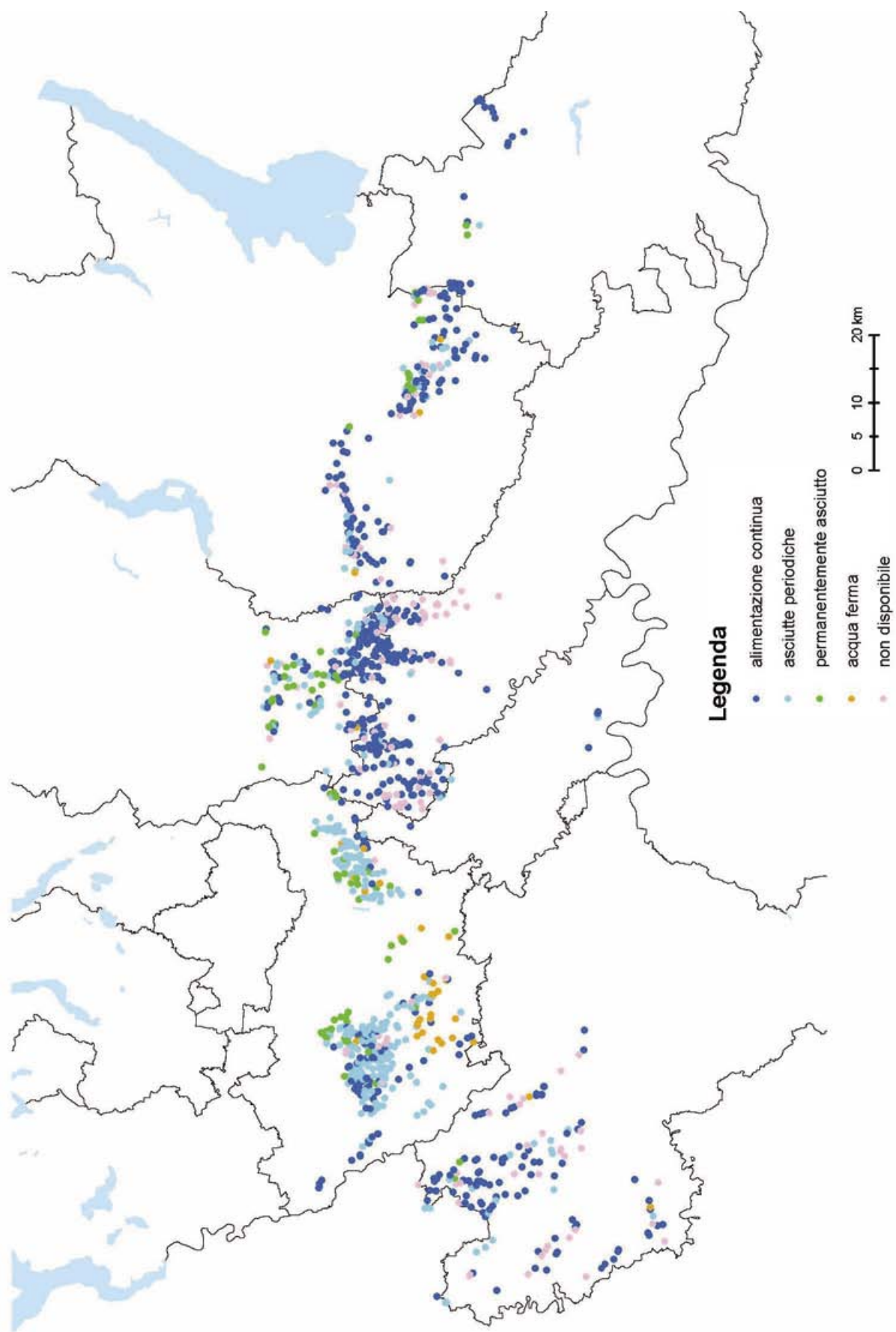


Figura 16. Presenza d'acqua nei fontanili lombardi

sunte nella tabella 7. Il 35% dei fontanili è accessibile direttamente dalla viabilità ordinaria, mentre solo il 2% può essere raggiunto attraverso percorsi ciclopeditali protetti. Il 25% circa dei fontanili può essere raggiunto utilizzando le strade agricole mentre una percentuale significativa non può essere raggiunta se non attraversando direttamente campi ed aree coltivate o aree boscate. Come riportato nella figura 17 la distribuzione spaziale delle diverse condizioni di accesso è sostanzialmente omogenea nei diversi ambiti territoriali.

E' importante sottolineare che questa classificazione non fa in alcun modo riferimento alla proprietà dei fontanili e dei fondi attraversati per arrivare ad essi; di conseguenza qualsiasi attività volta a favorire la fruizione pubblica dovrà preventivamente individuare le corrette modalità di accesso.

Accesso	%
Strada carrabile	35%
Percorso ciclopeditale	2%
Strada campestre	24%
Nessun percorso tracciato	35%
No data	4%
Totale	100,00%

Tabella 7. Modalità di accesso ai fontanili esistenti

Se l'accesso è un elemento essenziale nel determinare la possibilità di fruizione ricreativa dei fontanili, la presenza della vegetazione è indispensabile per valutarne la funzione ecologica. Come indicato nel capitolo relativo alla funzione ecologica, una valutazione approfondita della vegetazione e della fauna presenti nelle acque dei fontanili è stata fatta per alcuni fontanili campioni, richiedendo competenze specifiche e tempi non compatibili con il rilievo di tutti i fontanili lombardi. Nel censimento generale invece è stata rilevata la presenza di vegetazione nell'intorno del fontanile e sulle sponde.

Come mostra la mappa di figura 18 la presenza della vegetazione sia nell'intorno del fontanile che sulle sue sponde rappresenta una costante per gran parte dei fontanili lombardi. Ciò che non traspare dalle mappe è invece l'estrema variabilità della vegetazione presente e, soprattutto, lo stato di manutenzione della stessa. Si passa infatti da fontanili inseriti in ambiti di pregio naturalistico, a fontanili la cui vegetazione forma roccoli per la caccia. Per arrivare a fontanili ricchi di vegetazione alloctona impiantata dall'uomo fino ai numerosi casi di fontanili pressoché abbandonati con la vegetazione arbustiva e arborea che invade anche l'alveo.

Il primo elemento che determina la ricchezza della vegetazione terricola d'intorno al fontanile è la profondità di scavo: laddove la profondità e la larghezza di scavo determinano una più ampia superficie delle scarpate, si trova, in genere, maggior abbondanza di vegetazione arborea ed arbustiva, talvolta impiantata e governata dall'uomo per ombreggiare la zona d'acqua e rallentare così la crescita della vegetazione acquatica, talvolta sviluppatasi spontaneamente con connotazioni simili a quelle dell'ambiente boschivo.

Pur nell'estrema variabilità, le specie arboree più diffuse sono *Robinia pseudocacia*, *Ulmus minor*, *Quercus robur*, *Platanus* spp., *Populus* spp., *Salix* e *Alnus*. La composizione dello strato arbustivo è in genere poco varia e vede la prevalenza dei generi *Rubus*, *Sambucus* e *Cornus*. Infine la composizione della componente erbacea è fortemente variabile e cambia in funzione delle modalità di sfalcio delle rive. Per quanto riguarda invece la vegetazione acquatica e igrofila si rimanda a quanto ampiamente specificato nel capitolo alla tutela del biotopo fontanile.

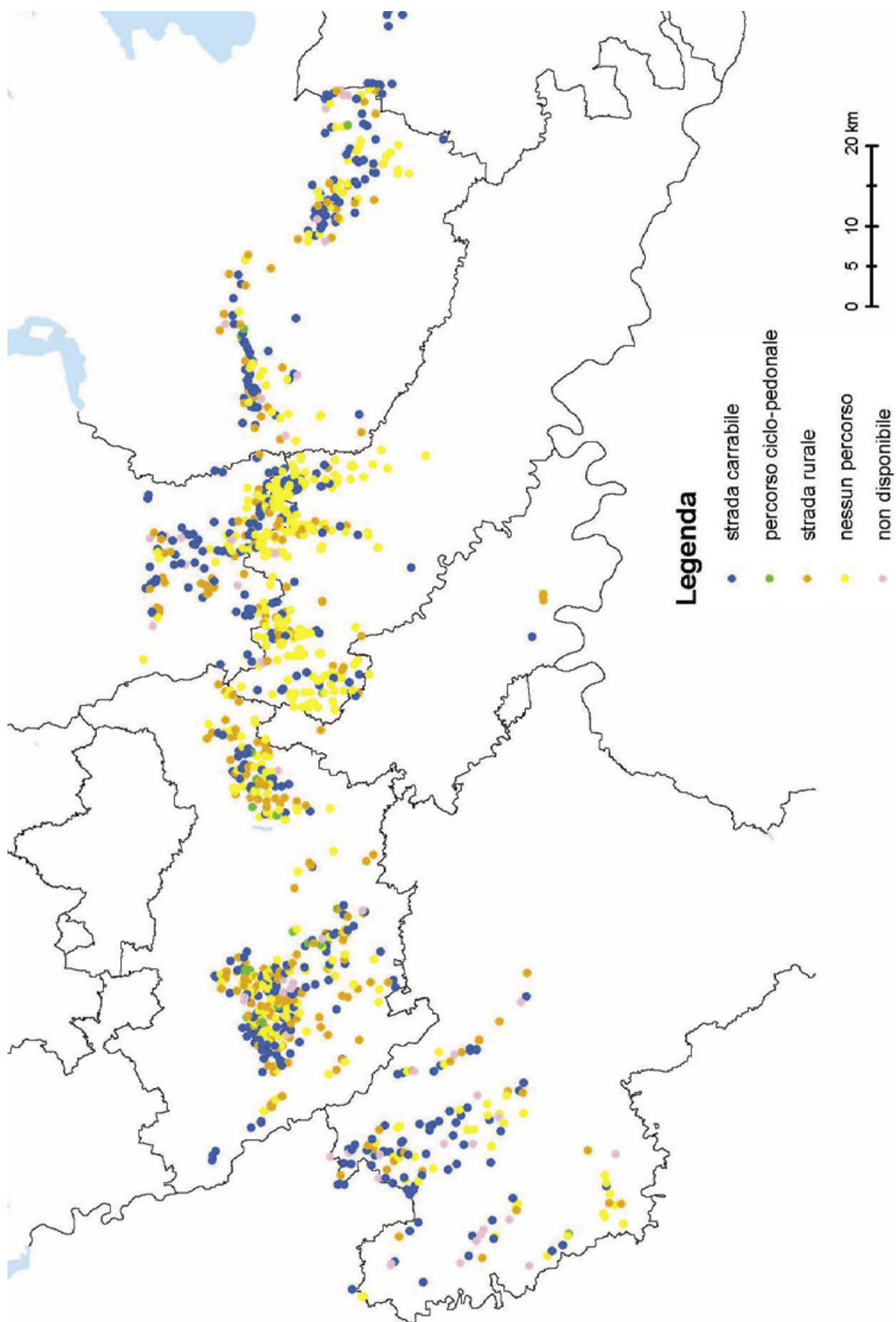


Figura 17. Modalità di accesso ai fontanili lombardi

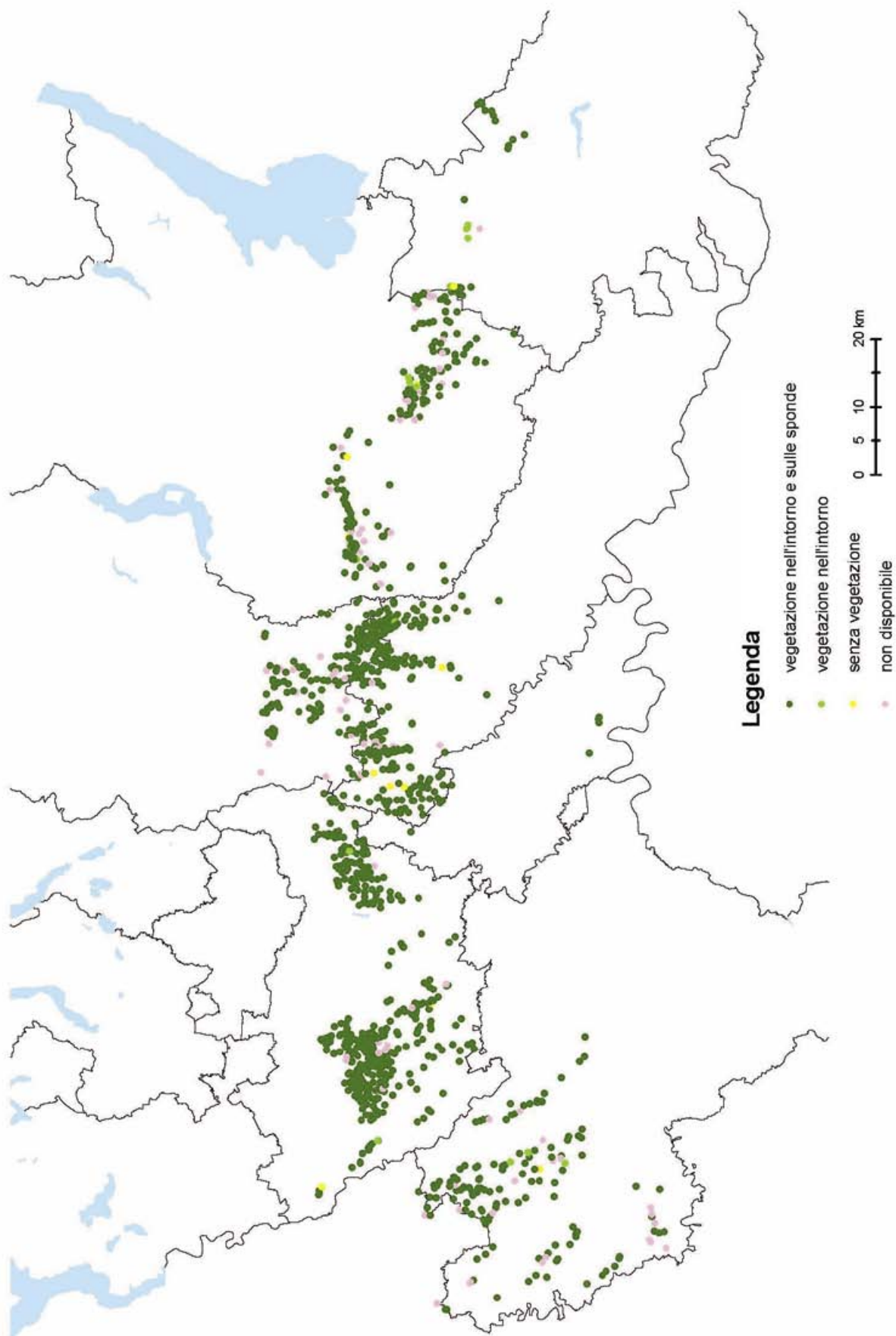


Figura 18. Presenza di vegetazione nell'intorno dei fontanili lombardi

CLASSIFICAZIONE FUNZIONALE

1- Obiettivi e riferimenti legislativi

La banca dati prodotta nell'ambito del progetto e descritta nei suoi caratteri essenziali nel capitolo precedente rappresenta, sicuramente, l'obiettivo primario del progetto; obiettivo al quale, nel secondo anno di attività, si è affiancato quello di arrivare ad una classificazione funzionale dei fontanili sulla base non solo delle loro caratteristiche proprie ma anche del contesto territoriale in cui sono inseriti.

La funzione irrigua è la "funzione madre del fontanile", ovvero quella che ha portato alla nascita di questi ambienti gestiti dall'uomo e che ancora oggi, nonostante le moderne tecniche agricole, contribuisce con i suoi apporti idrici ad alimentare la fitta rete di canali irrigui che caratterizzano la Pianura Padana. La funzione irrigua è il motivo stesso per cui i fontanili sono stati realizzati e continua a giustificarne il mantenimento come fattore produttivo del settore agricolo e non solo come testimonianza del passato. Anche la funzione ecologica è una funzione che può essere definita "storica", infatti i fontanili possono essere considerati una testimonianza delle zone umide che un tempo rivestivano aree ben più ampie della pianura lombarda e, quindi, costituiscono frammenti residui tuttora in grado di ospitare flora e fauna tipica di queste zone.

Infine, la funzione ricreativa valuta la possibilità di una nuova funzione per i fontanili rivolta all'esterno del mondo rurale: i fontanili, con l'acqua sorgiva e la vegetazione nell'intorno, possono costituire spazi ricreativi e di svago, con caratteristiche proprie dell'ambiente in cui sono inseriti e quindi assolutamente meno impersonali dei tradizionali parchi cittadini. In questo modo è possibile riassumere la funzione ricreativa con quella educativa e di testimonianza del mondo rurale.

L'importanza dei fontanili da diversi punti di vista è sottolineata anche dai contenuti del Piano Paesaggistico, sezione specifica del Piano Territoriale Regionale, PTR, approvato con d.c.r. n.951 del 19-10-2010, che all'articolo 21 *"L'infrastruttura idrografica artificiale della pianura: principali Navigli storici, canali di bonifica e rete irrigua"*, introduce delle norme a difesa del fontanile. In particolare al punto 7 dell'articolo 21 i fontanili vengono riconosciuti beni da:

"salvaguardare, riqualificare e valorizzare in riferimento alla loro funzionalità idrica ed ecosistemica, alla particolare connotazione vegetazionale e al significato simbolico e testimoniale che rivestono nel sistema paesistico rurale... al fine di valorizzare il ruolo storico e le valenze ambientali di questi luoghi".

La Regione fornisce degli indirizzi generali a protezione del fontanile e rimanda agli strumenti di pianificazione locale per una disciplina più dettagliata:

"... la pianificazione locale, tramite i P.T.C. (Piani Territoriali di Coordinamento) di parchi e province e i P.G.T. (Piani di Governo del Territorio) dei comuni, impedisce opere di urbanizzazione e nuova edificazione per una fascia di almeno 10 metri intorno alla testa del fontanile e lungo entrambi i lati dei primi 200 metri dell'asta e ne promuove:

- il recupero e la riqualificazione, in correlazione con la definizione della rete verde provinciale e del sistema del verde e dei corridoi ecologici comunali, e con riferimento alla promozione di percorsi di fruizione paesaggistica del territorio e alla realizzazione di punti sosta nel verde;*
- la tutela dell'alimentazione idrica, limitando, ove necessario, i prelievi di acque sotterranee all'intorno e prevedendo modalità efficaci di corretta e costante manutenzione impedendo azioni o interventi che possano compromettere le risorse idriche superficiali e sotterranee, in particolare le alterazioni del capodifonte e del relativo micro-ambiente"*.

Il punto 7 dell'articolo 21 fa riferimento alla rete verde provinciale ovvero l'applicazione a livello territoriale della Rete Ecologica Regionale (RER).

La RER, prevista del Documento di Piano del PTR, s'inserisce fra gli strumenti di programmazione territoriale e, in linea generale, ha la finalità di fornire un quadro della situazione naturalistica lombarda, di individuare gli elementi portanti dell'ecosistema di riferimento e di assicurare la connettività fra i vari elementi.

La RER è costituita da diversi elementi fra i quali le aree prioritarie per la biodiversità; fra queste

zone, individuate attraverso l'integrazione del giudizio di un gruppo di esperti, figura la fascia centrale dei fontanili: *“area caratterizzata dalla presenza di un mosaico di fasce boschive relitte, fontanili, rogge, canali, zone umide, piccoli canneti, prati stabili e incolti. Si tratta di un'area strategica per la conservazione della biodiversità della Pianura Padana lombarda, e di particolare importanza in quanto preserva significative popolazioni di numerose specie ittiche endemiche ...”*

Infine, anche nel Programma di Sviluppo Rurale 2007 – 2013, con la misura 216 “investimenti non produttivi”, sono previsti dei fondi anche per il recupero dei fontanili *“... recupero ambientale e funzionale di fontanili e risorgive, compresi gli interventi finalizzati a ripristinare la portata idrica prodotta, mediante interventi di manutenzione straordinaria sulla testa e sull'asta dei fontanili.”*.

Proprio per indirizzare al meglio questo interesse rivolto ai fontanili e impiegare nel modo più produttivo le risorse disponibili, nell'ambito del progetto è stata sviluppata la classificazione funzionale dei fontanili di seguito proposta.

La metodologia elaborata ha la finalità di calcolare indicatori e indici che consentano di misurare e quantificare le funzioni sopra indicate, o meglio, la funzione potenziale di un dato fontanile; si è voluto introdurre il concetto di funzione potenziale perché molte delle elaborazioni successive valutano la presenza/assenza di determinati elementi che creano le basi per poter formulare il giudizio in merito a una data funzione; il modo con cui la funzione potenziale si traduce (o si tradurrà) in “funzione reale” dipende da diversi fattori fra cui le scelte di carattere territoriale intraprese dai vari enti che operano sul territorio.

La scelta di intraprendere uno studio basato sulla funzione potenziale del fontanile, e non sull'effettivo stato di conservazione dello stesso, è stata dettata innanzi tutto dalla considerazione che un fontanile inattivo o rilevato in cattivo stato di manutenzione non può essere considerato “perso” perché, per ripristinare la sua funzionalità e il suo valore originario, servono degli interventi di manutenzione; inoltre, lo studio è condotto a livello regionale e, come per la maggior parte delle direttive di carattere territoriale, uno studio a così ampia scala non può entrare nel dettaglio e valutare caso per caso ogni singolo fontanile ma deve fornire delle linee guida per il recupero.

Valutando la presenza o l'assenza di vari elementi nell'intorno di ogni fontanile (buffer), per diversi livelli di analisi ovvero per diverse lunghezze di raggio dalla testa del fontanile, è stato possibile valutare la funzione potenziale di ogni fontanile determinata per l'appunto dalla presenza o dall'assenza di determinate caratteristiche (Figura 19).

Livelli di analisi

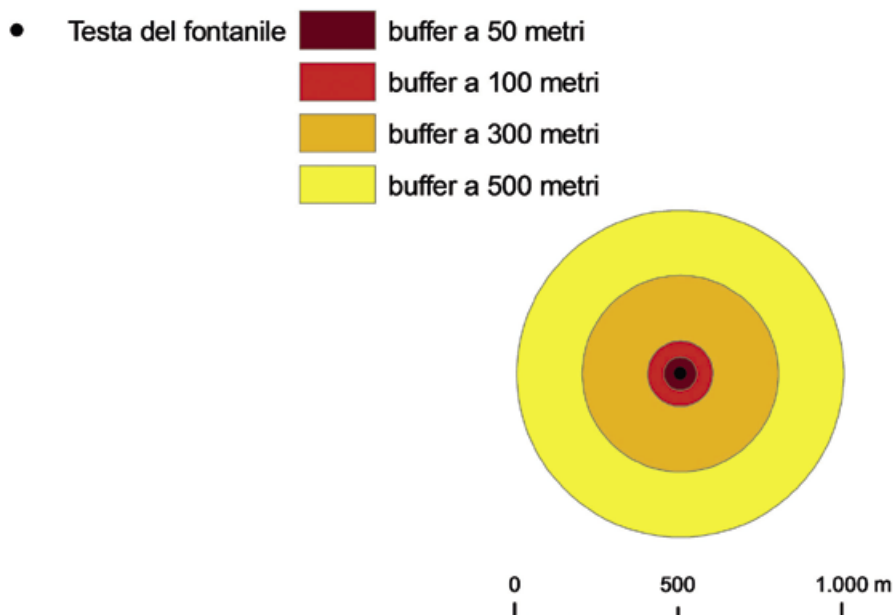


Figura 19. Diversi livelli di analisi - buffer dal fontanile

È molto importante sottolineare un ulteriore passaggio sul metodo di analisi adottato; l'indagine su più livelli ha permesso di caratterizzare un raggio di influenza del fontanile ovvero una distanza limite oltre la quale la ricerca degli elementi caratterizzanti la singola funzione perde di significato. Nelle tavole a seguire nel testo sono riportati solo gli indici con area di analisi significativa e non tutti i livelli su cui è stata effettuata l'indagine.

L'analisi ha permesso di individuare la sostanziale indipendenza delle caratteristiche proprie del fontanile rispetto al contesto territoriale in cui è inserito. In altre parole, fontanili di alta, media e bassa qualità si possono ritrovare in aree sostanzialmente contigue; per ovviare almeno in parte a questo risultato, il valore puntuale, riferito alla testa del fontanile, è stato interpolato in modo da definire aree particolarmente vocate per lo svolgimento delle diverse funzioni.

L'interpolazione, per tutte e tre le funzioni, è stata fatta utilizzando il metodo di regressione kriging impostando una distanza massima di 1000 metri. Anticipando i risultati di quanto specificato nei paragrafi seguenti, si può vedere nelle mappe di figura 22, 26 e 28 la classificazione delle aree interessate dalla presenza di fontanili con l'evidenziazione di quelle che per la presenza di più punti risultano di maggior rilievo.

2- Funzione irrigua

La funzione irrigua è la funzione più difficile da caratterizzare per l'assenza o l'incompletezza dei dati e delle conoscenze necessarie all'analisi, inoltre, questa funzione, come indicato nel capitolo 1, non è direttamente influenzata dall'intorno del fontanile come nel caso delle altre due funzioni. Lo sviluppo di questo indicatore valuta il ruolo del fontanile all'interno della rete irrigua e quindi, in ultima considerazione, il potenziale agricolo del fontanile ovvero il contributo idrico apportato per l'irrigazione alle colture.

I processi idrogeologici che concorrono a determinare la portata del fontanile sono molto complessi e per un'analisi dettagliata, si rimanda a quanto indicato nel capitolo successivo. Le modalità di alimentazione del fontanile sono molto varie, ma una possibile correlazione sembra essere stata evidenziata fra il regime idrologico di un gruppo di rogge fontanilizie e le portate idriche derivate dai canali irrigui a monte dei fontanili (Gandolfi et al. 2006).

I volumi di acqua prelevati dai canali per l'uso irriguo sono distribuiti sul territorio da una serie di canali, molto spesso non impermeabilizzati; la falda acquifera sottostante viene quindi ricaricata dalle perdite dei canali irrigui e delle superfici irrigate, il tutto a beneficio dei fontanili che attingono acqua dal sottosuolo e la re-immettono nella rete irrigua.

Dallo studio è anche emerso che è difficile correlare la portata dei canali irrigui a quella dei fontanili su aree troppo vaste ed è per questo motivo che si è deciso di utilizzare un raggio di indagine di 50 metri. Oltre questa distanza l'analisi perde di significato perché si rischia di considerare fattori che non rientrano nella dinamica del fontanile preso in considerazione.

La cartografia utilizzata per l'individuazione dell'indice è la "rete SIBITeR" - Sistema Informativo per la Bonifica e l'Irrigazione del Territorio Rurale e la "rete idrografica CT 10000" disponibile sul SIT, Sistema Informativo Territoriale della Regione Lombardia. La necessità di utilizzare entrambe le cartografie deriva dal fatto che le due mappe non coprono in modo uniforme tutto il territorio: alcuni canali censiti in una mappa non lo sono nell'altra (figura 20), poiché nella banca dati SIBITeR sono compresi solo i canali gestiti dai Consorzi di Bonifica mentre nella rete idrografica CT 10000 è riportata la rete ricavata dalla digitalizzazione della Carta Tecnica Regionale, in entrambi i casi la rete per l'area dei 188 comuni in cui ricadono i fontanili.

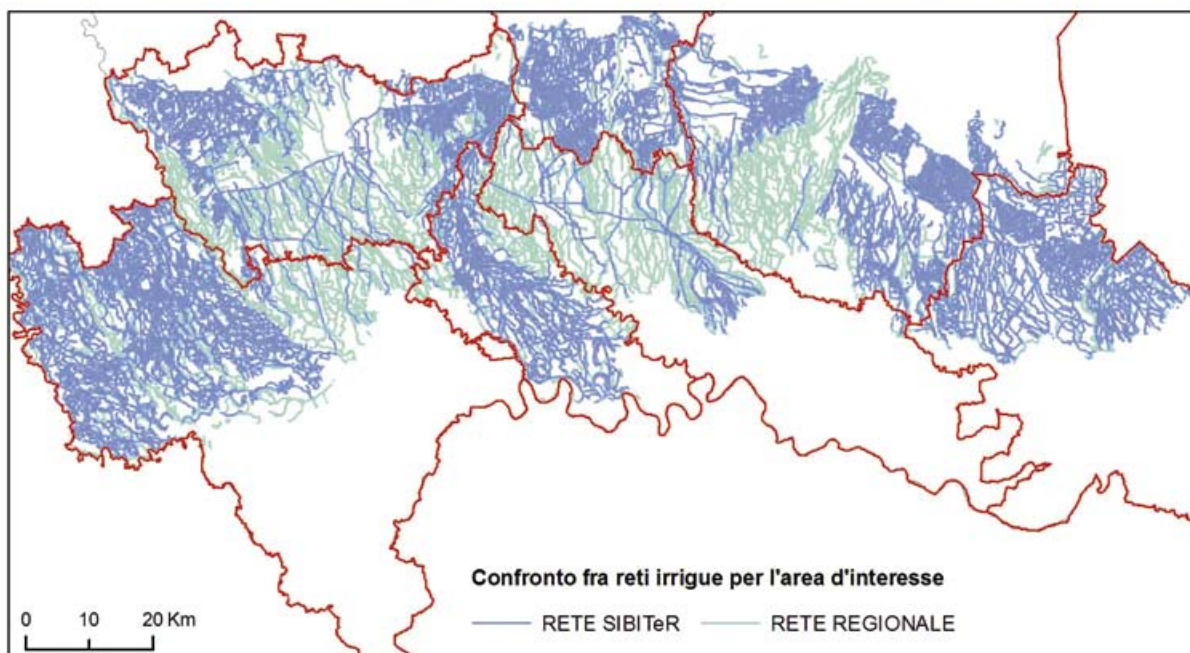


Figura 20. Rappresentazione della differenza fra la Rete SIBITeR e la Rete Regionale CT10000

L'unione delle due mappe ha richiesto alcuni accorgimenti in fase di sviluppo dell'indice per evitare di conteggiare due volte i medesimi canali (sovrapposizioni fra canali censiti in entrambe le carte - mancata sovrapposizione di alcune polilinee raffiguranti il medesimo canale censito in entrambe le carte).

L'indice, che si elabora come sotto indicato, valuta la presenza di canali irrigui in un buffer di 50 metri dalla testa del fontanile ed assume valori che variano fra 0 (nessun canale) ed 1 (valore massimo).

$$I_{IRR} = \frac{L_{rete_buf}}{L_{rete_max}}$$

Dove:

L_{rete_buf} : lunghezza della rete nel buffer a 50 metri.

L_{rete_max} : lunghezza massima rilevata nel buffer a 50 metri.

La mappa di figura 21 mostra l'andamento dell'indice riferito ad ogni singola testa mentre quelle successive mostrano l'andamento dell'indice interpolato alla superficie, realizzata in modo da riportare a livello territoriale un valore puntuale ed evidenziare così le specificità delle diverse aree.

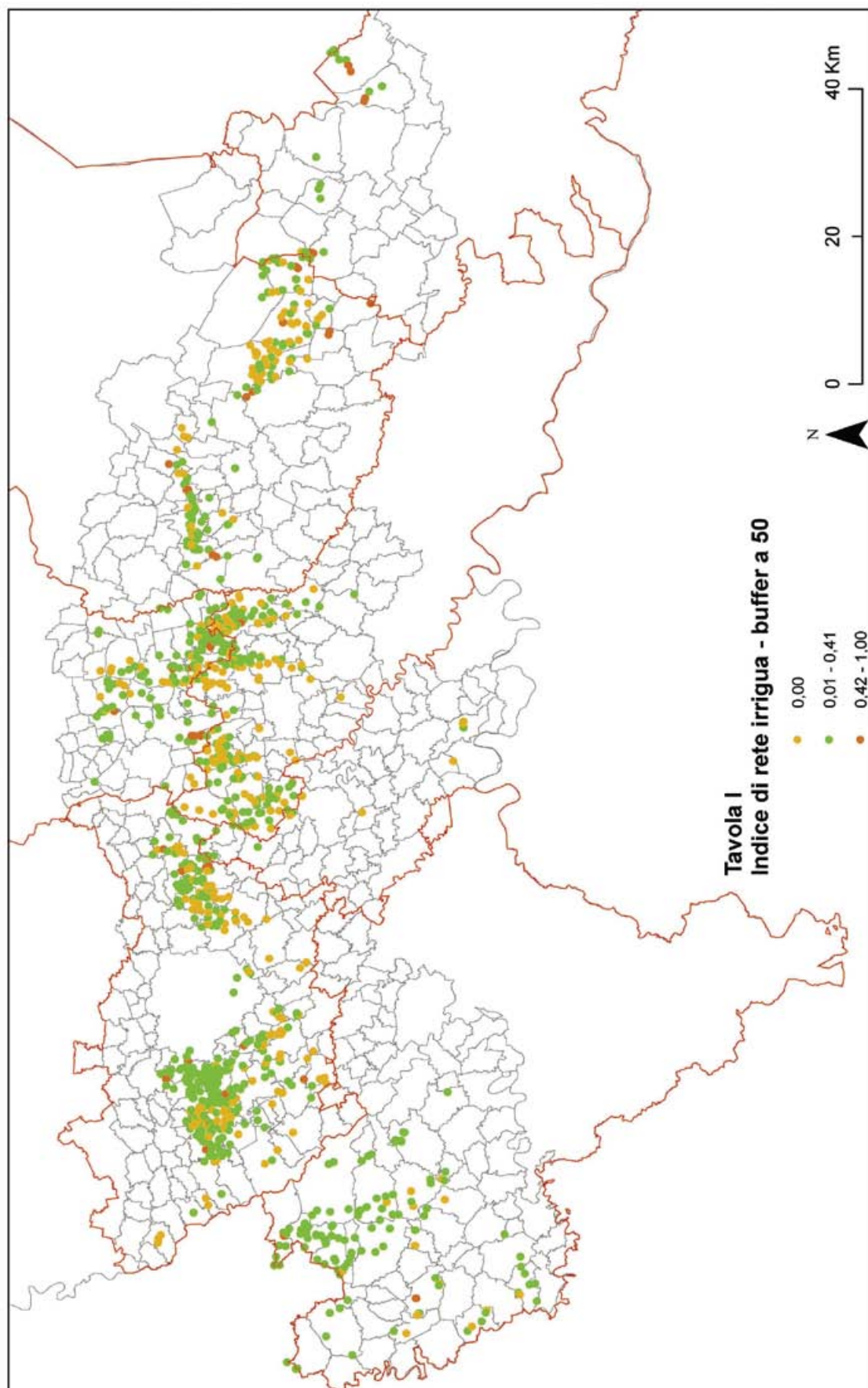


Figura 21. Indice di rete per i comuni nell'area fontanilizia

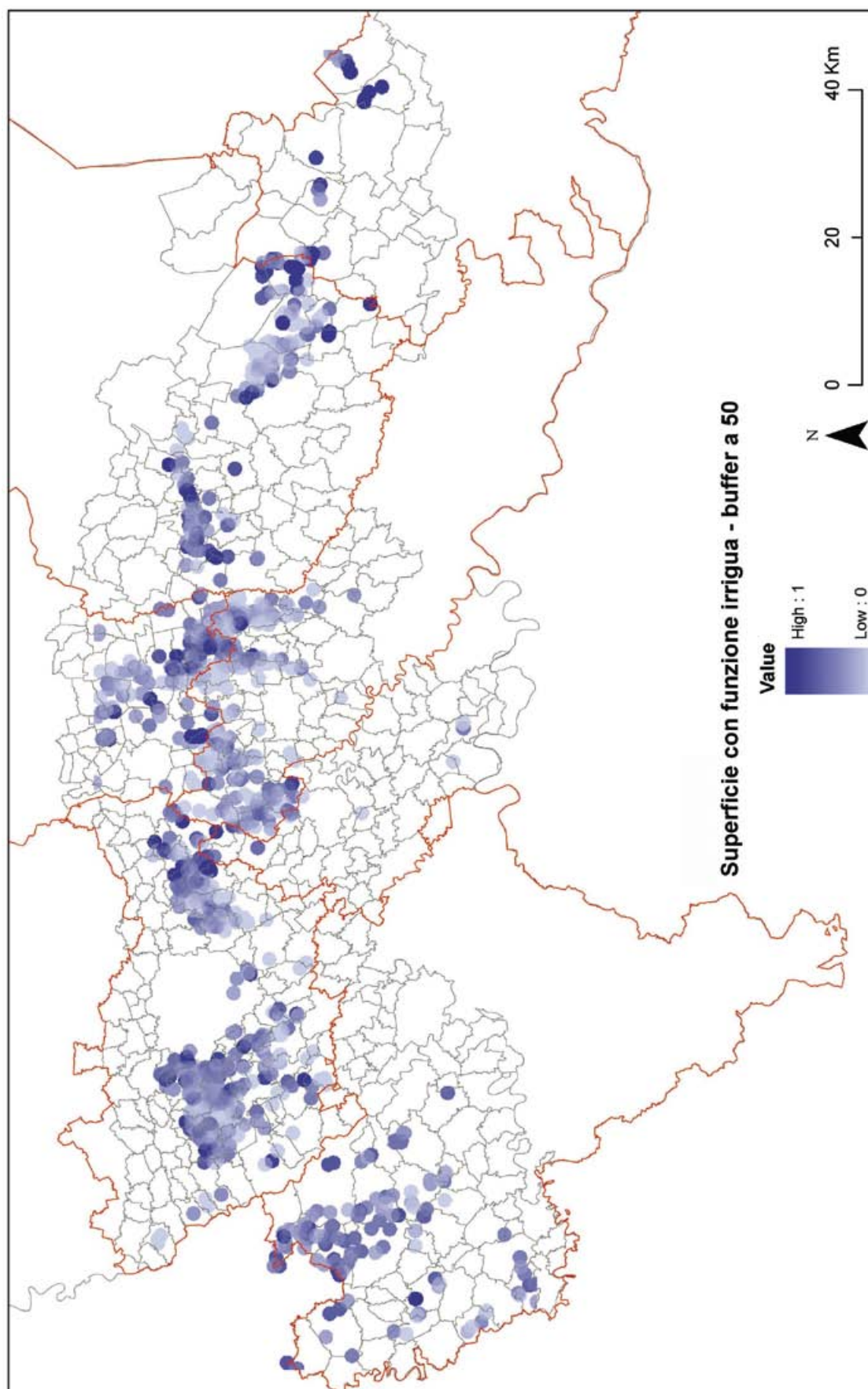


Figura 22. Superficie con funzione irrigua nell'area fontanilizia

L'indice, come precedentemente ricordato, non copre regolarmente tutto il territorio in esame perché le informazioni derivanti dalle banche dati sulla rete irrigua non sono omogenee. Ad ulteriore dimostrazione di questa disomogeneità viene riportata la figura 23 in cui si mostra la differenza fra l'indicatore costruito con la sola rete SIBITeR e quello costruito con l'utilizzo della cartografia fornita dalla Provincia di Cremona, molto più dettagliata.

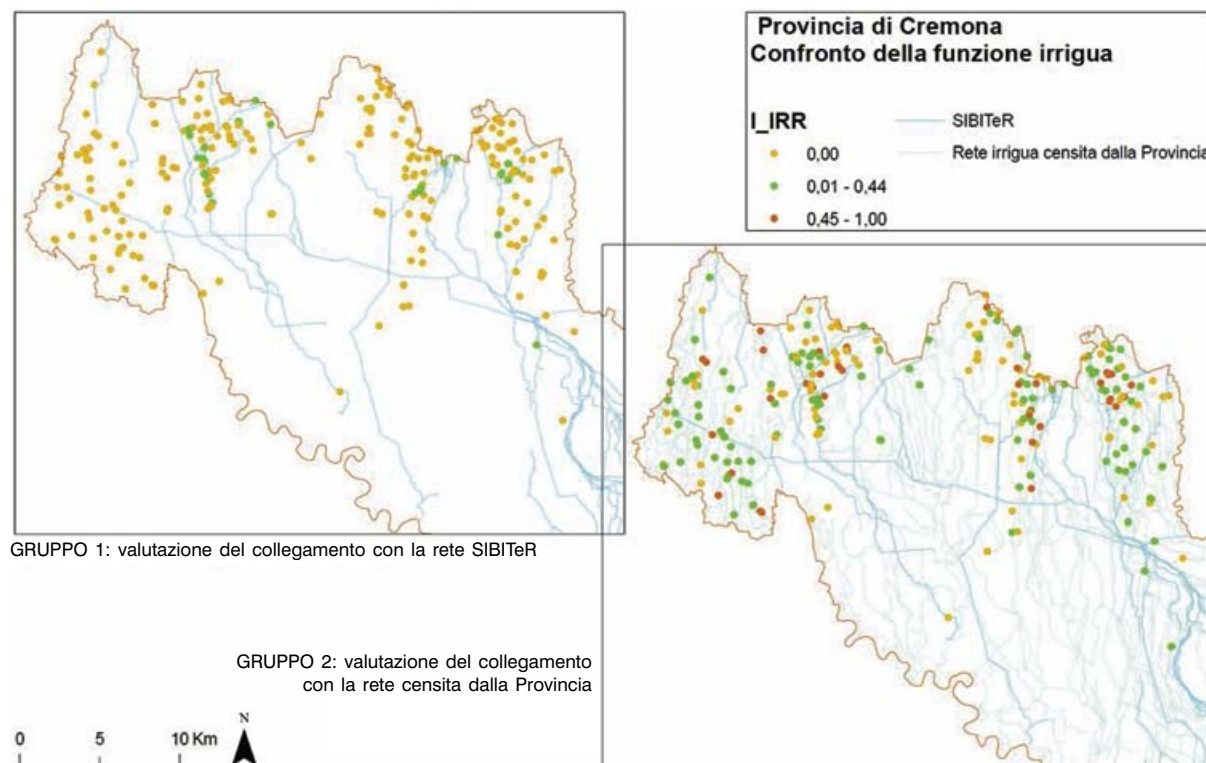


Figura 23. Confronto dell'andamento dell'indice irriguo.

3- Funzione ecologica

La funzione ecologica valuta sia la connessione ecologica dei fontanili con gli elementi della Rete Ecologica Regionale sia la stabilità ecologica nel buffer di riferimento. In questo caso, come precedentemente spiegato, l'analisi è stata condotta su tre livelli (100-300-500 metri di raggio dalla testa del fontanile) e, solo successivamente, si è scelto il livello di analisi utile per caratterizzare questa funzione.

La stabilità ecologica del buffer (I_{stab}) esprime un giudizio in merito alla presenza di due tipologie di elementi: elementi in grado di conferire stabilità ecologica ed elementi che alterano questa stabilità.

La valutazione degli elementi che conferiscono stabilità ecologica è stata effettuata riprendendo alcuni concetti espressi dall'Indice di Stabilità Ecologica ISE, elaborato dal Dipartimento di Ingegneria Agraria dell'Università degli Studi di Milano. Attraverso l'utilizzo della cartografia DUSAF (banca dati dell'uso del suolo della Regione Lombardia), si sono evidenziati quegli elementi, sia lineari che poligonali, che conferiscono stabilità ecologica.

Elementi poligonali: boschi (sia di latifoglie che misti di latifoglie e conifere), cespuglieti, cespuglieti con presenza significativa di specie arboree e arbustive, formazioni ripariali, prati (sia in assenza che in presenza di specie arboree), vegetazione degli argini sopraelevati, vegetazione dei greti, vegetazione delle aree umide e delle torbiere.

Elementi lineari: Siepi e filari.

Successivamente, in funzione della densità degli elementi di stabilità ecologica è stata definita una classifica alla quale è stato associato un giudizio di valore.

CLASSE	DENSITA' ELEMENTO POLIGONALE	DENSITA' ELEMENTO LINEARE (m/ha)
Alta	> 55%	> 110 m/ha
Media	54 - 30%	109 - 60 m/ha
Bassa	0,1 - 29%	0,1 - 59 m/ha
Nulla	0	0

Tabella 8. Valutazione degli elementi di stabilità ecologica

I limiti delle classi degli elementi poligonalari sono stati definiti prendendo spunto sia dall'ISE, sia da diversi studi condotti da ERSAF riguardo i differenti usi del suolo per le provincie lombarde. I limiti delle classi di elementi lineari sono stati definiti con riferimento ad un gruppo di ricerche effettuate sulla Pianura Padana.

Infine, l'ultimo elemento utile per evidenziare gli elementi che conferiscono stabilità ecologica nel buffer è la presenza o meno di vegetazione sulla testa del fontanile. Questo dato, che deriva dalla scheda del censimento, è importante perché la vegetazione sulle rive fornisce protezione e riparo alla fauna. La decisione di valutare separatamente questo dato deriva dal fatto che l'unità minima cartografabile sul DUSAF di 1600m² è molto spesso superiore alla dimensione della vegetazione naturale posta attorno al fontanile che, pertanto, non è cartografata.

Ad ogni classe (alta, media, bassa, nulla) è associato un punteggio che va da 3 (classe alta) a 0 (classe nulla); dalla combinazione dei punteggi deriva un punteggio finale che consente di formulare un giudizio complessivo sugli elementi che conferiscono stabilità ecologica al buffer (I_{eco}) e che varia fra 1 (positivo) e 0 (negativo).

$$I_{ECO_b} = \frac{P_{pol} \cdot 2 + P_{lin} + P_{rip}(0;1)}{10}$$

Dove:

P_{pol}: punteggio degli elementi poligonalari, moltiplicato per due perché gli elementi poligonalari conferiscono maggiore stabilità rispetto a quelli lineari.

P_{lin}: punteggio degli elementi lineari.

P_{rip}: prende valori di 0 o di 1 in funzione dell'assenza (0) o della presenza (1) della vegetazione sulle rive del fontanile.

La valutazione degli elementi che diminuiscono la stabilità ecologica si è focalizzata sull'analisi delle infrastrutture che tagliano l'area del fontanile e che influiscono sia direttamente (barriera al movimento delle specie, morte della fauna travolta dai veicoli) sia indirettamente (aumento delle sostanze inquinanti in prossimità del ciglio stradale) sull'area attorno al fontanile.

La metodologia proposta per la valutazione dello sviluppo infrastrutturale parte da due considerazioni: la lunghezza dell'infrastruttura e la tipologia dell'infrastruttura che influisce direttamente sull'impedenza al movimento delle specie animali. Gli shapefile utilizzati per l'analisi sono disponibili sul SIT della Regione.

La valutazione dello sviluppo infrastrutturale considera i metri lineari di infrastruttura che tagliano il buffer; in funzione della lunghezza è attribuito un punteggio di riduzione così calcolato:

CLASSE	DENSITÀ ELEMENTO LINEARE	PUNTEGGIO
Alta	> 2r	3
Media	≤ 2r e ≥ r	2
Bassa	< r	1
Nulla	/	0

Tabella 9. Valutazione dello sviluppo infrastrutturale

Anche la tipologia dell'infrastruttura, come in precedenza riportato, influisce sul movimento delle specie: strade molto ampie, trafficate, a più corsie per senso di marcia e dove si possono raggiungere velocità elevate limitano maggiormente il movimento delle specie rispetto a strade con traffico più limitato o concentrato in determinati momenti della giornata o con velocità di transito inferiori, come sono le strade comunali e quelle interpoderali.

Per questo motivo le infrastrutture, in funzione delle caratteristiche sopra elencate, sono state riunite in tre gruppi ai quali è stato assegnato un differente peso.

GRUPPO	TIPOLOGIA	PESO
1	autostrade, tangenziali, ferrovie e metropolitane	2
2	strade principali, statali e provinciali	1
3	strade secondarie e comunali	/

Tabella 10. Valutazione della tipologia di infrastruttura

È importante sottolineare la differenza che sussiste fra gli elementi del gruppo 3 e quella dei gruppi 1 e 2. Il gruppo tre ha peso nullo perché la sua lunghezza è valutata in modo diverso rispetto alla classificazione proposta precedentemente; questa differenza di trattamento deriva dal fatto che le strade secondarie e comunali molto spesso si trovano in aperta campagna e sono molto meno trafficate rispetto a quelle degli altri gruppi. Ciò non significa considerare queste strade ad impatto nullo ma semplicemente non incrementarne il peso come per le altre due classi.

Per questo motivo, se la strada considerata appartiene al gruppo 3 e taglia il buffer per una lunghezza maggiore di 2r prende valore di 1 altrimenti rimane con valore uguale a 0.

Dalla combinazione delle classi di lunghezza dell'infrastruttura e dei gruppi d'impedenza deriva l'insieme degli elementi riduttori di stabilità ecologica, I_{rid} , che varia fra 0 (nessuna strada, nessuna impedenza) e 1 (diverse tipologie di strade e impedenza).

$$I_{RID_b} = \frac{CLAS\ 1 * GRUP\ 1 + CLAS\ 2 * GRUP2 + CLAS\ 3(0;1)}{10}$$

Dove:

CLASS: classe di appartenenza.

GRUP: gruppo di appartenenza.

Dalla combinazione degli elementi che conferiscono stabilità ecologica e dei detrattori di stabilità deriva l'indice di stabilità ecologica del buffer, I_{stab} , che varia fra 0 (stabilità nulla) e 1 (stabilità massima).

$$I_{stab} = I_{eco} * (1 - I_{rid})$$

La metodologia applicata sui tre livelli di analisi ha permesso, già con questo primo passaggio, di evidenziare il livello di analisi significativo che ricade nel buffer a 100 metri. Infatti l'indicatore

evidenza come la vegetazione in grado di accrescere la stabilità ecologica del fontanile si concentri nell'intorno dello stesso e come, aumentando progressivamente il raggio di indagine, diminuisca la sua incidenza e aumenti quella delle strade.

Il secondo passo per definire la stabilità ecologica totale valuta l'inserimento del fontanile all'interno della Rete Ecologica Regionale (figura 24).

La Rete individua gli elementi a maggior valore ambientale e assicura la connettività delle varie aree; è formata da diversi elementi che si differenziano in elementi primari ed elementi secondari.

Gli elementi primari costituiscono il sistema portante della rete mentre gli elementi secondari hanno funzione di completamento della Rete.

A loro volta gli elementi primari si differenziano in sottoelementi di seguito elencati:

Elementi di primo livello: aree sorgente della RER che possono ospitare le popolazioni più consistenti; sono costituiti da varie aree fra cui le aree protette e le aree prioritarie per la biodiversità.

Corridoi ecologici: sia ad alta che a bassa antropizzazione, non sono di grande importanza per la biodiversità ma svolgono comunque una funzione di collegamento ecologico.

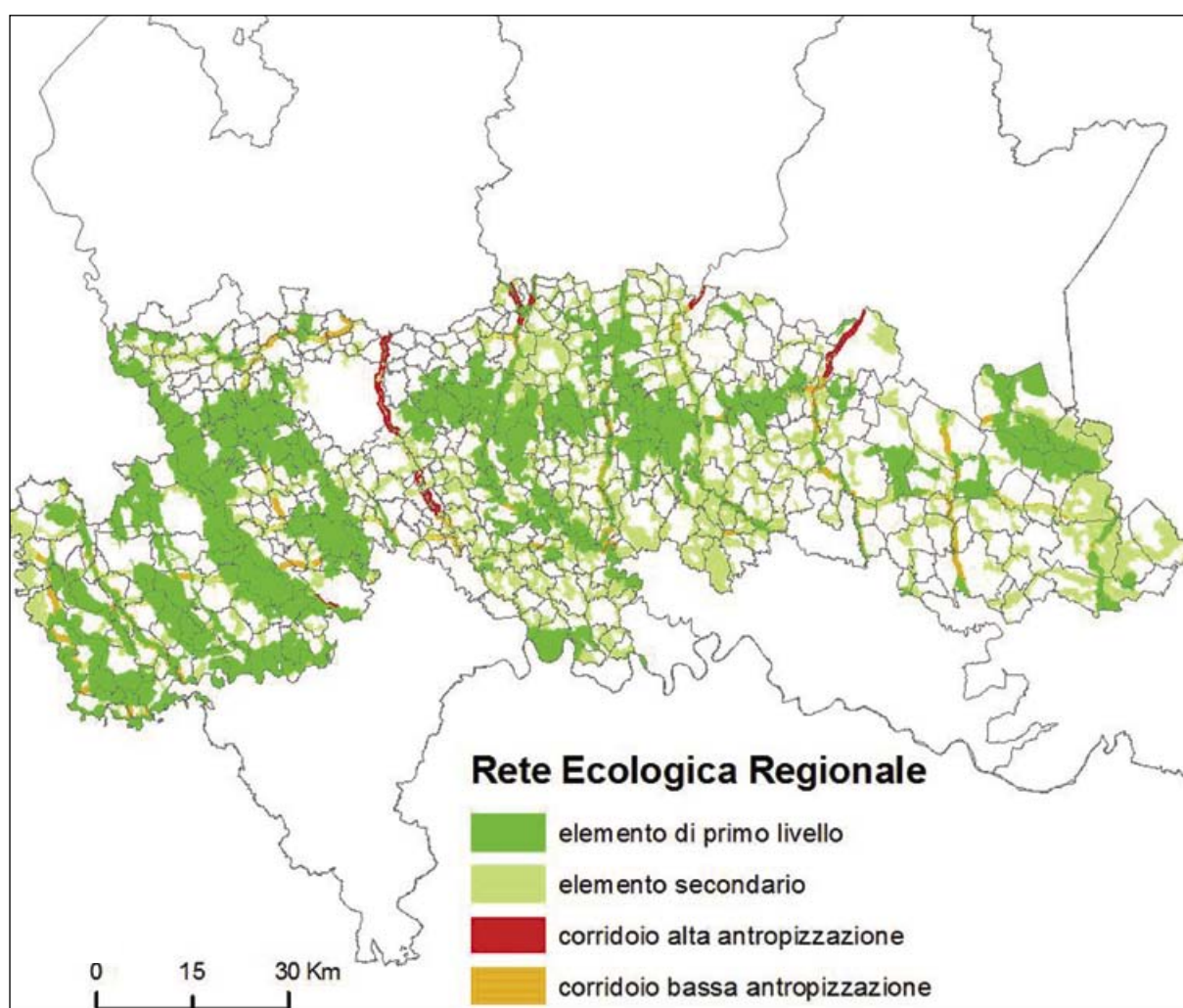


Figura 24. Elementi della RER

Il sistema elaborato per valutare la connessione dei fontanili con gli elementi della RER prevede un'analisi per singolo punto e non per buffer.

A seconda dell'appartenenza del fontanile all'uno o all'altro elemento della RER viene assegnato un punteggio che, moltiplicato per I_{stab} , lascerà inalterato o andrà a diminuire il valore dell'indice di stabilità ecologica riferito al buffer.

I punteggi sono così calcolati:

- appartenenza ad un elemento primario della RER: punteggio 1;
- appartenenza ad altri elementi della RER: punteggio 0.9;
- non appartenente alla RER: punteggio 0.8.

L'assegnazione dei punteggi scegliendo degli intervalli soglia minimi è stata dettata dal fatto che, con la legislazione urbanistica vigente, i fontanili oggi sono più protetti rispetto agli anni passati e l'appartenenza alla RER si traduce semplicemente in maggior garanzia dal punto di vista legislativo, di tutela dell'area protetta.

L'ulteriore passaggio, che permette di calcolare la stabilità ecologica totale, I_STAB , di fatto non porta a degli "stravolgimenti" nella valutazione della stabilità ecologica precedentemente calcolata ma permette di "aggiustare" i valori dell'indicatore riscalandoli in funzione dell'appartenenza alla RER.

La mappa di figura 25 mostra l'andamento dell'indicatore di stabilità ecologica totale, I_STAB , con la suddivisione manuale dei risultati in classi di appartenenza.

La tavola di figura 26 mostra invece la superficie con stabilità ecologica totale, il valore dell'indice interpolato alla superficie.

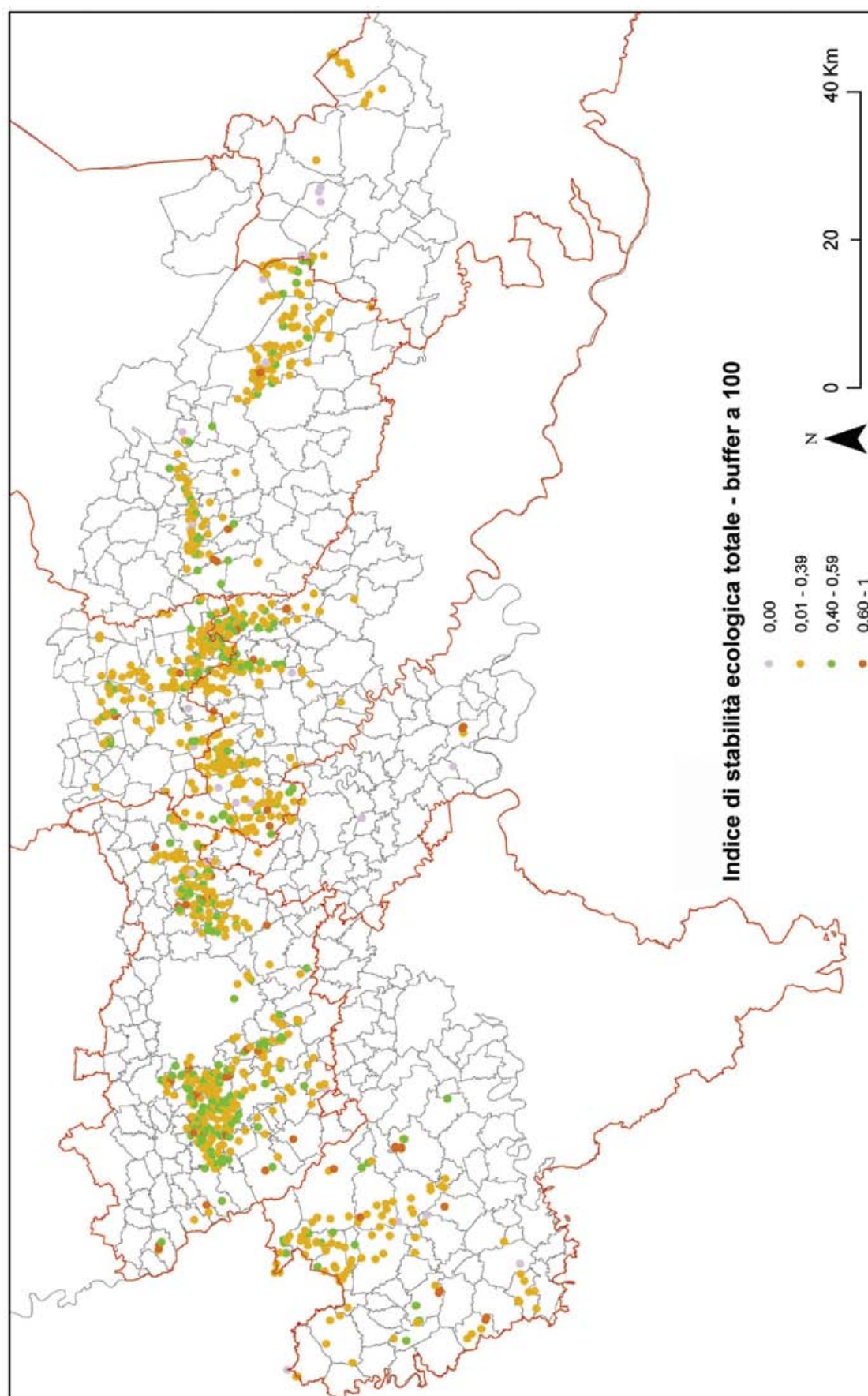


Figura 25. Indice di stabilità ecologica nell'area fontanilizia.

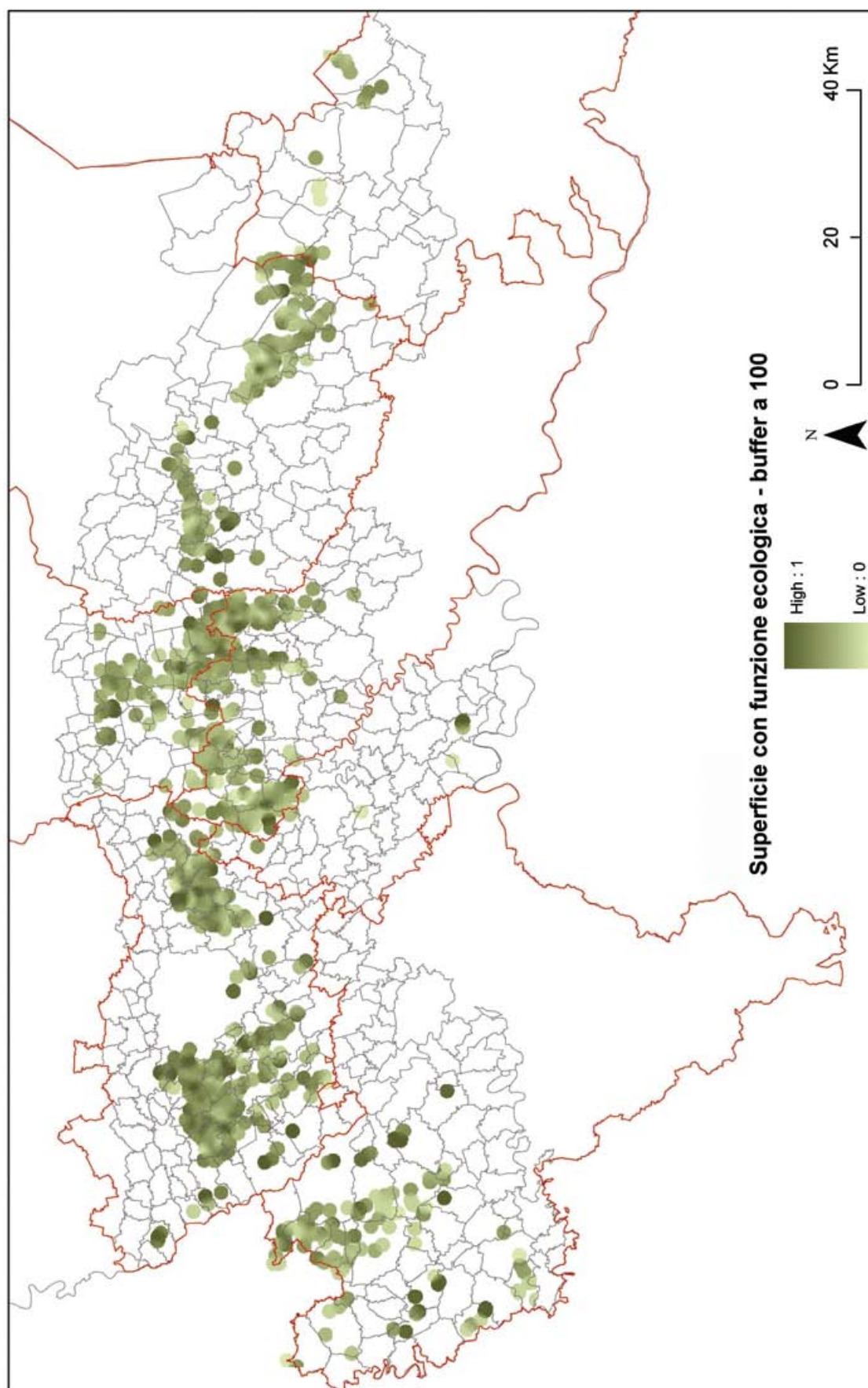


Figura 26. Superficie con funzione ecologica nell'area fontanilizia.

4- Funzione paesaggistica-ricreativa

La funzione paesaggistica e ricreativa valuta l'inserimento del fontanile nel paesaggio circostante in modo da determinare sia la qualità del paesaggio nell'intorno del fontanile, sia la possibile funzione ricreativa del fontanile in relazione alla sua accessibilità; la sintesi di queste due informazioni valuterà la funzione ricreativa complessiva. L'analisi è condotta sempre su tre livelli: buffer a 100, 300 e 500 metri dalla testa del fontanile.

L'accessibilità è definita sia dall'utenza potenziale – I_{upot} , sia dalla presenza di un accesso (strada, sentiero campestre ecc..) al fontanile – I_{acc} .

L'utenza potenziale del fontanile prende in considerazione il numero di persone potenzialmente interessate ad usufruire di questo bene e coincide con le persone che risiedono all'interno del buffer. In questa analisi il fontanile non viene valutato come un elemento con valenza turistica, da inserire in una "gita fuoriporta" perché la visita al fontanile si risolve in meno di quindici minuti e la maggior parte dei fontanili si trova in zone poco turistiche.

Al contrario, il fontanile può essere utilizzato dalla popolazione che risiede nelle sue vicinanze come area a verde oppure come luogo per lo svolgimento di visite didattiche per le scolaresche della zona interessata. Le basi su cui si fonda l'indicatore sono l'uso del suolo (DUSAF 2007) e i dati ISTAT del Censimento della Popolazione 2001.

Le diverse sottoclassi della classe residenziale del DUSAF sono state raggruppate in un'unica voce "residenziale" e, a questa voce è stata abbinata l'informazione sulla popolazione residente per comune, immaginandola distribuita con densità omogenea su tutte le diverse aree residenziali. In questo modo si ottiene la popolazione residente in ogni comune abbinata alla sola superficie residenziale e non all'intera superficie comunale. Successivamente è stato calcolato quanta superficie residenziale è contenuta nei buffer, quindi, attraverso una semplice proporzione è stato possibile ottenere l'utenza potenziale ovvero la popolazione potenzialmente interessata ad usufruire del bene fontanile. L'indicatore è stato calcolato nel seguente modo e varia fra 0 (valore minimo) e 1 (valore massimo):

$$I_{U_{pot} (0-1)} = \frac{N_{ab}}{N_{ab.max}}$$

Dove:

N_{ab} : numero degli abitanti nel buffer del fontanile

$N_{ab.max}$: numero di abitanti massimo rilevato nel buffer.

L'indicatore accesso, I_{ac} valuta la raggiungibilità del fontanile ed è uguale a 1 se esiste un accesso al fontanile (strada carrabile, percorso ciclopedonale, sentiero campestre) mentre prende valore di 0 se il fontanile non è raggiunto da nessun tracciato.

Dalla combinazione dell'indicatore di utenza potenziale e di quello di accesso deriva l'indice di accessibilità I_{ACC} che varia fra 0 (valore minimo) e 1 (valore massimo).

$$I_{ACC (0-1)} = \frac{I_{U_{pot}} + I_{ac}}{2}$$

Il secondo indice utilizzato per formulare un giudizio sul potenziale ricreativo valuta l'inserimento del fontanile nel paesaggio, l'indicatore di qualità I_{QLTA} ed è determinato dalla combinazione degli indicatori di composizione e di configurazione del paesaggio.

L'indicatore di composizione di paesaggio valuta la presenza sia di elementi che valorizzano il contesto in cui il fontanile è inserito sia la presenza di elementi che diminuiscono la qualità del paesaggio. L'elaborazione prevede l'utilizzo dell'uso del suolo come base su cui individuare entrambe le tipologie di elementi e la formazione di gruppi di valorizzatori e detrattori di paesaggio ai quali sarà successivamente assegnato un peso, con l'utilizzo della scala di Saaty, per comprendere l'ordine di importanza nel determinare la qualità del paesaggio.

I valorizzatori, divisi in funzione di quanto l'elemento caratterizza l'ambiente fontanile e sono:

- elementi molto caratterizzanti: formazioni ripariali, vegetazione delle aree umide interne e delle torbiere;
- elementi caratterizzanti: boschi di latifoglie a densità media e alta e a bassa densità;
- elementi abbastanza caratterizzanti: marcite, vegetazione degli argini.

	Abb. caratterizzante	Caratterizzante	Molto caratterizzante	Pesi
Abb. caratterizzante	1	0,5	0,20	0,12
Caratterizzante	2	1	0,33	0,23
Molto caratterizzante	5	3	1	0,65

Tabella 11. Assegnazione dei pesi agli elementi caratterizzanti il paesaggio dei fontanili

I detrattori di paesaggio, divisi in funzione del grado di edificazione del suolo sono:

- suolo pesantemente edificato: zone produttive e insediamenti di grandi impianti di servizi pubblici e privati (insediamenti industriali, artigianali, commerciali - insediamenti produttivi agricoli
- insediamenti ospedalieri - impianti tecnologici - cantieri - aree militari obliterate), reti ferroviarie, stradali e spazi accessori, aeroporti ed eliporti, cave;
- suolo edificato: tessuto urbano continuo (tessuto residenziale mediamente denso - tessuto residenziale denso), aree degradate non utilizzate e non vegetate, aree sportive e ricreative (impianti sportivi e parchi divertimento);
- suolo parzialmente edificato: Insediamento discontinuo (tessuto residenziale discontinuo – tessuto residenziale rado e nucleiforme - tessuto residenziale sparso-cascine), aree sportive e ricreative (campeggi e strutture turistico ricettive).

	Parzialmente edificato	Edificato	Pesantemente edificato	Pesi
Parzialmente edificato	1	0,50	0,13	0,10
Edificato	2	1	0,33	0,21
Pesantemente edificato	8	3	1	0,69

Tabella 12. Assegnazione dei pesi agli elementi detrattori del paesaggio dei fontanili

Per entrambe le valutazioni realizzate con la scala di Saaty è stato verificato il Rapporto di Coerenza. L'indicatore di composizione ottenuto dall'analisi e rielaborazione degli elementi che compongono il paesaggio varia da 0 (giudizio negativo) a 1 (giudizio positivo) ed è elaborato come segue:

$$I_{COMP (0-1)} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{a_n}{A_{buf}} * p_d + \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{a_n}{A_{buf}} * p_v\right)}{2}$$

Dove:

a_n : superficie di una classe di detrazione/valorizzazione.

A_{buf} : superficie totale del buffer.

p_d : peso del detrattore.

p_v : peso del valorizzatore.

Il secondo indicatore calcolato è l'indicatore di configurazione che considera, sempre riferendosi all'area di analisi, il numero di frammenti con un diverso uso del suolo e la loro forma.

Un paesaggio molto frammentato e articolato, soprattutto in zone di confine fra campagna e città, incontra, dal punto di vista estetico una preferenza minore rispetto ad un paesaggio con una struttura più armonica e più facilmente interpretabile (legibility).

L'indicatore utilizzato per valutare questa peculiarità del paesaggio è quello di Patch Density (I_{PD}), riportato sotto e che assume valori che vanno da 0 (molto frammentato) a 1 (poco frammentato).

$$I_{PD} = 1 - \frac{N_{fram}}{N_{fram\ max}}$$

Dove:

N_{fram} : Numero di frammenti nel buffer.

$N_{fram\ max}$: numero di frammenti massimo rilevato nell'analisi.

Per esprimere un giudizio di qualità sul paesaggio è importante valutare anche la forma dei frammenti che lo compongono; più i frammenti sono articolati più diminuisce la preferenza di un paesaggio. L'indicatore utilizzato per l'analisi della forma dei frammenti è l'indicatore shape I_{SHP} , che utilizza l'indice di forma SI (McGarigal e Marks, 1995 – Graves e Bourne 1989); SI misura la complessità della forma del frammento nei confronti di una forma standard, nel nostro caso del cerchio.

$$SI = \frac{p_j}{2\sqrt{\pi \cdot a_j}}$$

Dove:

p_j : perimetro del frammento

a_j : area del frammento

SI varia da 1 (forma perfetta) e aumenta senza limite all'aumentare della complessità di forma.

Partendo dalle considerazioni di cui sopra, l'indicatore si sviluppa nel modo seguente:

$$I_{SHAPE} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n SI_n}{SI_{max}}$$

Dove:

SI_n : SI presente nel buffer del fontanile.

SI_{max} : valore massimo di SI registrato nell'analisi.

L'indicatore varia fra 0 e 1 e, più si avvicina al limite massimo, più il paesaggio è costituito da frammenti regolari.

L'indicatore totale di configurazione del paesaggio - I_{CONF} , è dato dalla combinazione dei precedenti indicatori:

$$I_{CONF} = \frac{I_{SHAPE} + I_{PD}}{2}$$

L'indice varia fra 0 e 1 e più si avvicina al limite massimo più il paesaggio ha forme regolari.

L'indice di qualità riassuntivo, che valuta sia la composizione che la configurazione è dato da:

$$I_{QLTA}' = \frac{I_{COMP} + I_{CONF}}{2}$$

Anche in questo caso i valori prossimi all'uno indicano paesaggi qualitativamente migliori.

Infine, l'indice di funzione ricreativa riassuntivo della qualità del paesaggio e dell'accessibilità del fontanile è dato da:

$$I_{FR} = \frac{I_{QLTA} + I_{ACC}}{2}$$

L'analisi per la qualità del paesaggio è stata condotta sui tre livelli di analisi (buffer a 100, 300 e 500 metri) e il successivo confronto visivo fra i risultati ai tre livelli evidenzia che le differenze più evidenti sono fra il buffer al 100 e gli altri due buffer (300 e 500). Queste differenze sono confermate anche dall'analisi dell'ANOVA – Analisi della Varianza – e dai test Post Hoc (effettuati con il programma SPSS).

La scelta del buffer di riferimento in grado di rappresentare la funzione ricreativa del fontanile è quindi ricaduta sul buffer a 300 metri perché è in grado di coniugare una buona accessibilità e una buona qualità del paesaggio. Inoltre, durante le attività di censimento dei fontanili, è stato possibile constatare che gli effetti dovuti alla presenza di elementi che diminuiscono la qualità del paesaggio, come ad esempio usi del suolo “detrattori di paesaggio”, possono venire “smorzati” da alcuni accorgimenti nell'intorno del fontanile come la messa a dimora di piante ad alto fusto in grado di schermare la vista sul detrattore di paesaggio; anche per questo motivo si è preferito fissare come buffer di riferimento per la funzione ricreativa il 300 metri e non il 500.

Nella mappa di figura 27 è riportata la classificazione puntuale dei fontanili sulla base dell'indice di funzione ricreativa riferito al buffer di 300 m, mentre nella figura 28 questo indice è stato interpolato, così come fatto per i due indici precedenti in modo da individuare le aree a maggior vocazione.

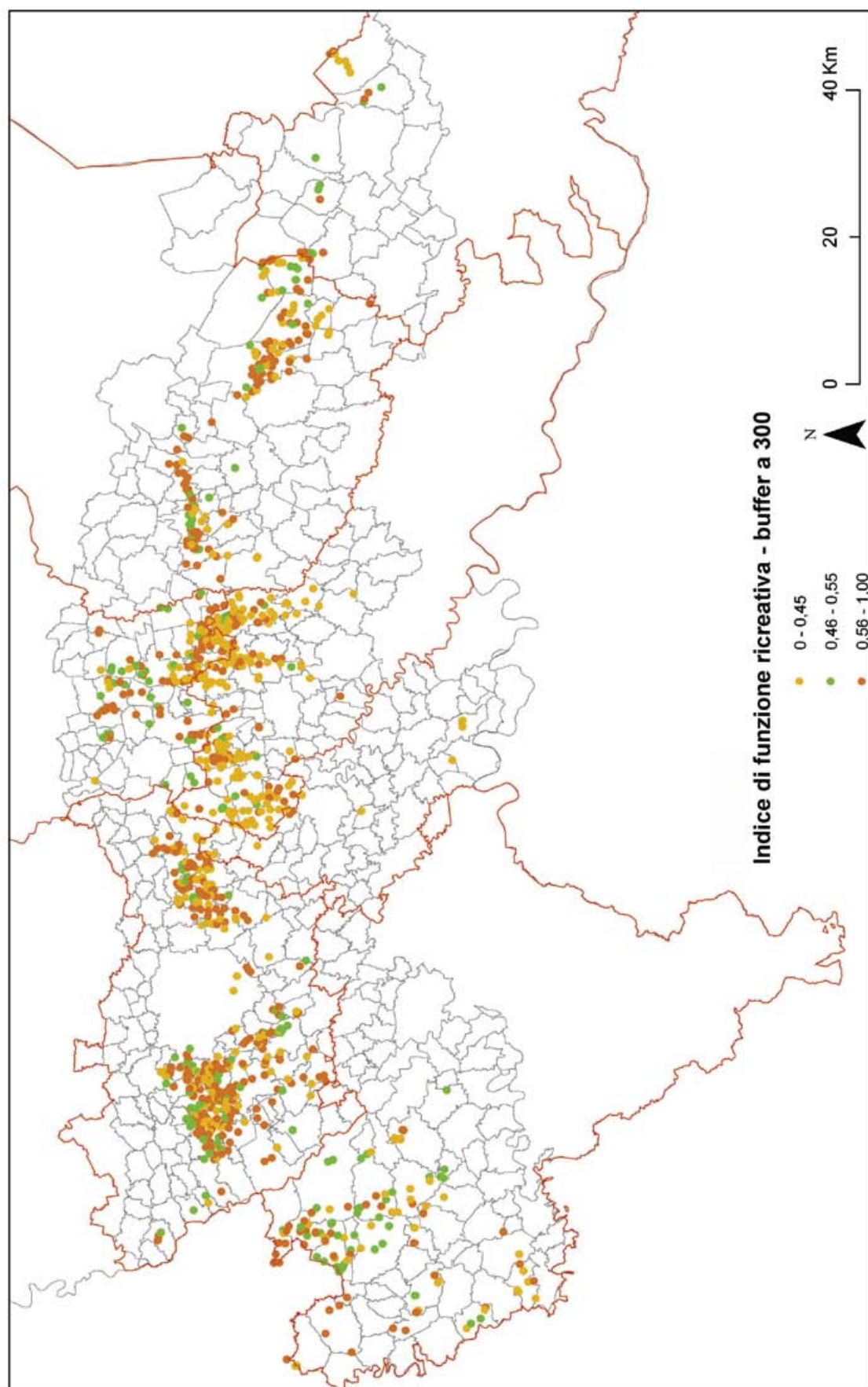


Figura 27. Indice di fruizione ricreativa nell'area fontanilizia.

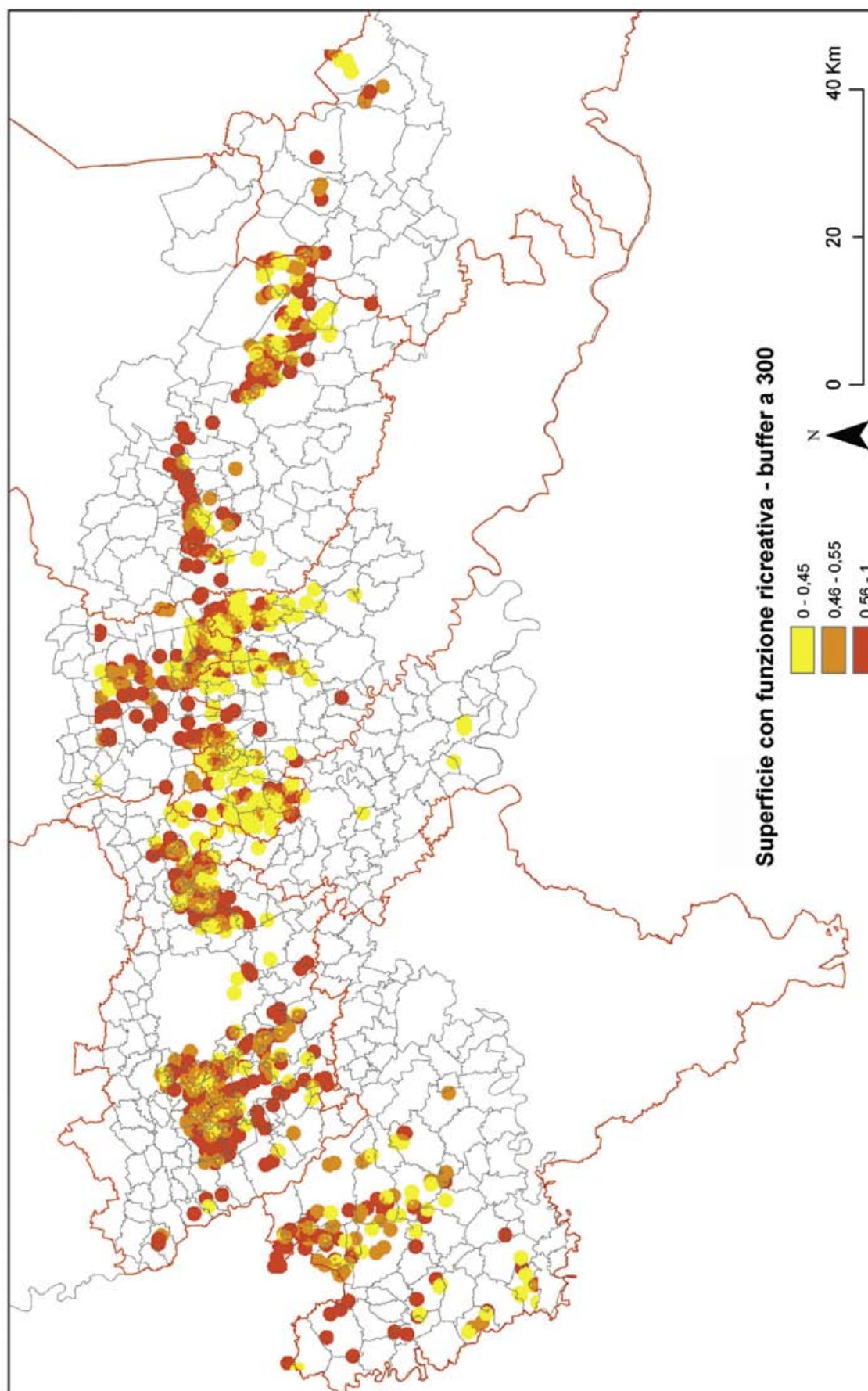


Figura 28. Superficie con funzione ricreativa nell'area fontanilizia.

5- Indicazioni di sintesi

L'analisi delle funzioni ricreativa, ecologica e irrigua ha permesso di individuare la sostanziale indipendenza delle caratteristiche proprie del fontanile rispetto al contesto territoriale in cui è inserito: l'andamento di ogni indice legato al singolo fontanile esprime una realtà a sé stante, non influenzata dalla presenza nell'intorno di altri fontanili tant'è che fontanili di alta, media e bassa qualità si possono trovare in aree sostanzialmente contigue.

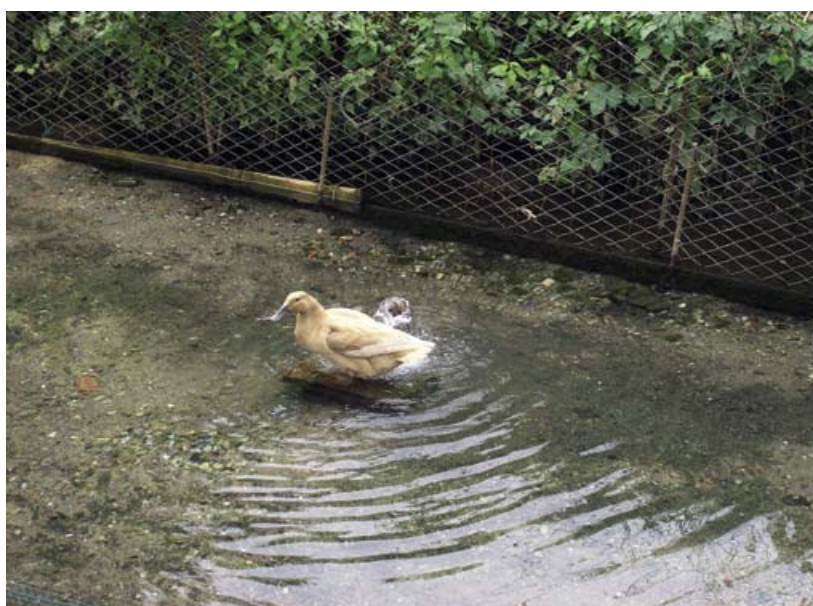
L'indice irriguo invece non restituisce informazioni su tutta l'area analizzata per la sostanziale disomogeneità della rete dei canali disponibile in formato numerico e, per questo motivo, non si è ritenuto opportuno elaborare un indice di sintesi per le tre funzioni.

L'interpolazione dei valori puntuali ha invece consentito di individuare, gruppi di fontanili spazialmente vicini e con valori dell'indice omogenei, ottenendo così delle aree particolarmente vocate per lo svolgimento delle diverse funzioni. Tuttavia i ri-

sultati di questa funzione sembrano più legati al numero dei fontanili, ovvero alla loro densità, piuttosto che al loro valore. Così, ad esempio, è stato possibile evidenziare valori significativamente elevati degli indicatori ecologico e ricreativo nella provincia di Milano per la presenza del Parco Agricolo Sud Milano che rappresenta una forma di tutela e per le elevate densità abitative che determinato un'elevata utenza potenziale e di conseguenza elevati valori nell'indice ricreativo.

Il passo successivo non può che essere indirizzato al confronto fra i valori di classificazione delle aree individuate e gli strumenti pianificatori vigenti in modo da meglio definire e indirizzare eventuali forme di tutela ed indirizzo volte alla conservazione e valorizzazione dei fontanili.

I risultati ottenuti, sia a livello puntuale che di superficie, possono essere utilizzati come un valido strumento guida nelle future scelte di carattere territoriale operate a vario livello dagli enti preposti. Infatti la conoscenza della funzione o delle funzioni che consentono di valorizzare un fontanile o un gruppo di fontanili permette di impiegare in modo corretto le risorse disponibili evitando interventi che, all'atto pratico, non avranno una ricaduta territoriale conforme alle aspettative.



MONITORAGGIO IDRAULICO

1- Caratteristiche dei fontanili e del loro regime idrometrico

Ai fini della definizione del monitoraggio idraulico è fondamentale chiarire il meccanismo che regola il funzionamento dei fontanili.

La conformazione geologica e geomorfologica generale della pianura Padana, come detto, fanno sì che vi sia una fascia di risorgive della larghezza di diversi chilometri, che attraversa quasi ininterrottamente l'intera pianura, dal Piemonte al Friuli Venezia Giulia, in concomitanza del passaggio tra substrati permeabili e le alluvioni fini a bassa permeabilità.

In Lombardia, in corrispondenza delle aree di emersione di acqua freatica l'uomo ha scavato artificialmente il terreno a formare depressioni dell'ordine di 2-3 metri rispetto al piano campagna, i fontanili, con lo scopo di favorire la venuta a giorno dell'acqua sottosuperficiale da utilizzare a fini irrigui.

L'acqua che alimenta i fontanili può avere una differente origine che non è sempre semplice identificare. Da una parte vi può essere un contributo da acque sub-superficiali che determina una risposta abbastanza rapida nel regime idrometrico dei fontanili stessi, mentre in altri casi l'origine delle acque è più profonda e il ritardo nella risposta è maggiore (Desio, 1973). I due contributi, che possono essere evidenziati attraverso la misura dei regimi termici delle acque, possono essere presenti contemporaneamente dando luogo, i primi, a filtrazione dalle sponde, i secondi, all'emergenza dal fondo.

In entrambi i casi, il fenomeno è legato alla presenza di strati superficiali permeabili (ghiaie e sabbie generalmente di origine alluvionale), che poggiano su strati a bassa permeabilità, spesso di limitata estensione. È verosimile che buona parte dei fontanili siano alimentati da falde sospese (a tale proposito si vedano ad esempio le caratteristiche stratigrafiche dei terreni in prossimità di fontanili riportati in Gomasca, 2002) di limitata estensione e soggette più a fattori di carattere locale, che alla consueta dinamica delle acque sotterranee più profonde, che segue invece una dinamica a scala regionale.

L'affioramento delle acque è favorito, oltre che dallo scavo, dall'infissione al fondo del fontanile, per alcuni metri, di grossi cilindri o, per parecchi metri, di tubi metallici. In taluni casi si può osservare una risalita del getto di diverse decine di centimetri al disopra della superficie libera nel fontanile, proveniente dai tubi infissi più profondamente (fino a 12 m), evidenziando la presenza di fenomeno che ha i caratteri dell'artesianità.

In genere, la portata dei fontanili è molto variabile nello spazio in funzione di numerosi fattori, sia di carattere generale che, soprattutto, di carattere locale proprio in ragione del meccanismo di funzionamento sopra evidenziato. Non è raro che vi siano differenze sostanziali nella portata erogata da fontanili che si trovano a distanza molto ravvicinata. Nel caso illustrato in figura 29, tre fontanili nel comune di Fontanella presentano regimi sostanzialmente differenti, nonostante abbiano il fondo alla medesima quota (anche se differenti profondità rispetto al piano campagna).

Il regime idrometrico dei fontanili può essere assai variabile anche nel tempo, proprio in funzione del tipo di alimentazione. Questa si mostra generalmente legata all'attività agricola ed in particolare all'attività irrigua, più che ai livelli generali della falda o alle precipitazioni. L'irrigazione, infatti, sembra spesso essere in grado di mantenere i livelli piezometrici particolarmente elevati e sufficienti a giustificare l'attività dei fontanili.

Piccinini e Patrizi (1985) hanno provato a mettere in relazione le portate misurate in numerosi fontanili dell'area tra Adda e Chiese con le freatimetrie e con le precipitazioni misurate nella zona, senza però trovare alcuna conferma se non i casi isolati, o trovando una relazione piuttosto debole e generale.

Al contrario, una stretta relazione tra regime fontanilizio e pratica irrigua è ritenuta scontata da parte di diversi autori (ad esempio Desio, 1973), che hanno da tempo messo in evidenza come il minimo della portata nei fontanili si registri nei mesi di aprile e maggio, mentre il massimo tra ago-

sto e gennaio, anche in relazione ai periodi di asciutta dei canali principali nei mesi invernali. Tale comportamento è confermato dall'analisi delle portate osservate in 47 campagne di misurazione effettuate dal dicembre 1988 al novembre 1996 dal Consorzio della Media Pianura Bergamasca in sezioni di rogge fontanilizie (che possono raggruppare più fontanili) disposte lungo una stretta fascia a cavallo del confine settentrionale delle province di Lodi e Cremona (Figura 30).

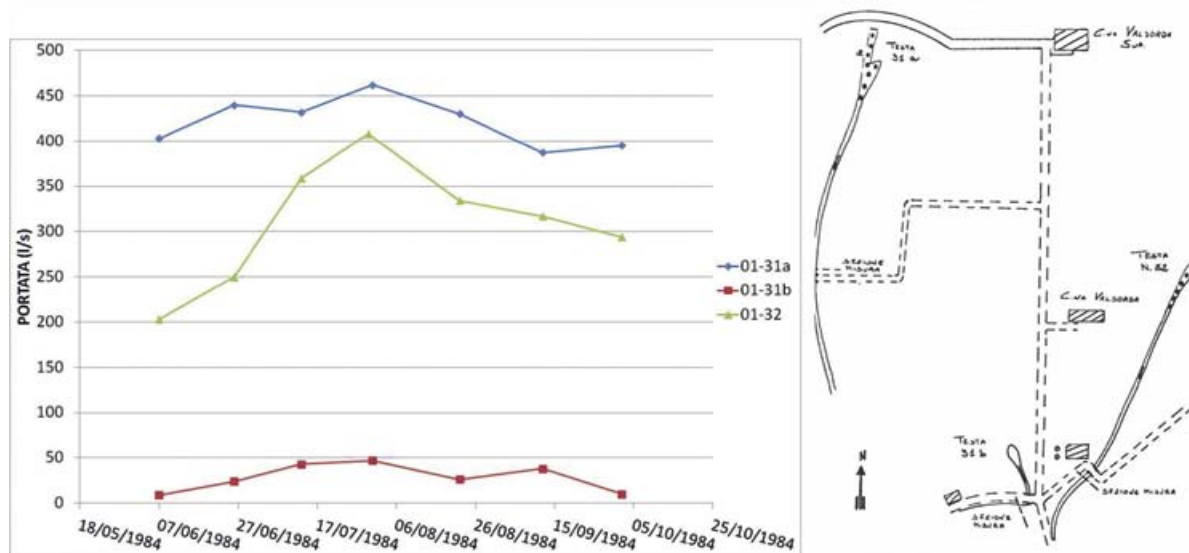


Figura 29. Andamento delle portate in tre fontanili che distano meno di 500 m (da Piccinini e Patrizi, 1985)

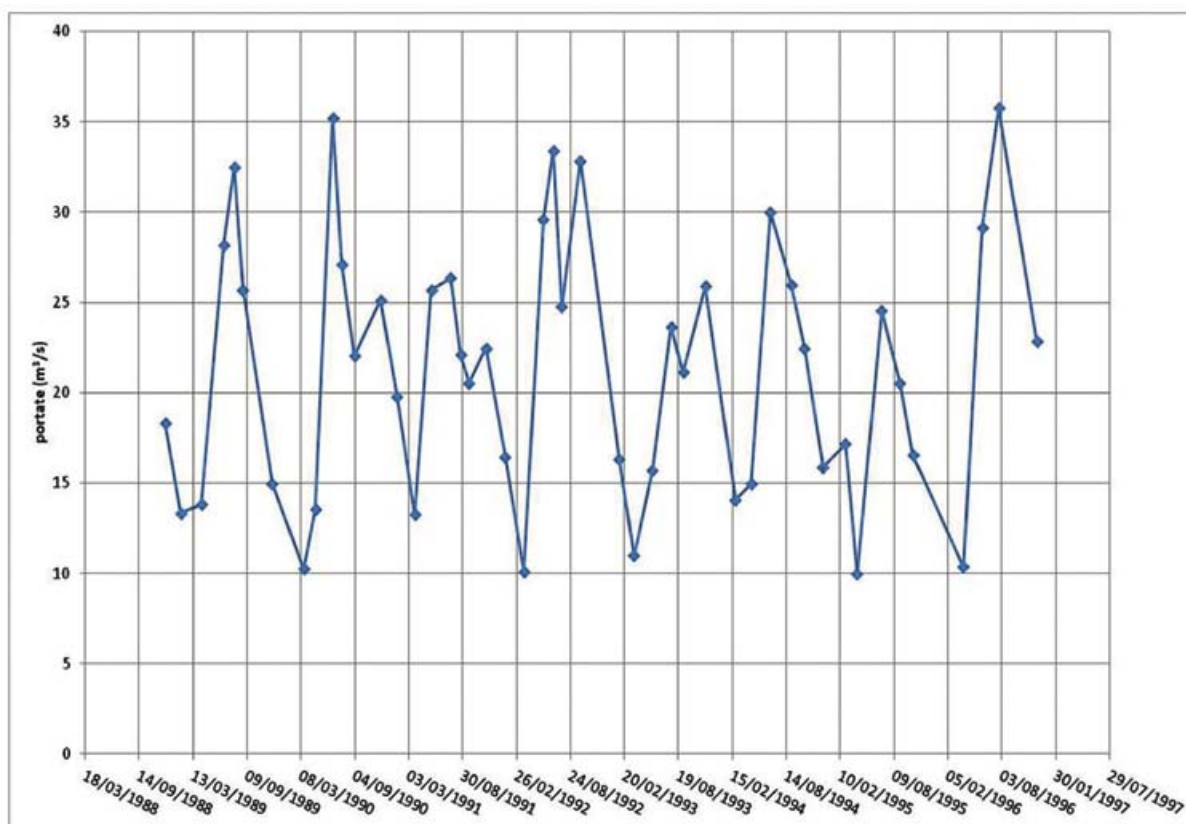


Figura 30. Andamento delle portate complessive dei fontanili presenti tra Adda e Oglio nel periodo 1988-1997 (elaborazione da dati del Consorzio della Media Pianura bergamasca)

Gli ingenti volumi idrici prelevati dai corsi d'acqua ad uso irriguo, in effetti, sono capillarmente distribuiti sul territorio attraverso una rete di canali prevalentemente non rivestiti. La percolazione dai canali e dalle superfici irrigate contribuisce in modo determinante alla ricarica distribuita della falda acquifera, che s'innalza favorendo l'alimentazione dei fontanili; ciò è dimostrato dall'andamento stagionale che si riscontra per le portate derivate da acqua fluente, i livelli della falda freatica e le portate dei fontanili.

I processi idrologici che determinano l'entità e la distribuzione spaziale di tali flussi sono tuttavia articolati e complessi e, per un'analisi di dettaglio, sarebbe necessario sviluppare un modello distribuito per la simulazione della dinamica della falda superficiale in funzione della distribuzione di acqua nell'irrigazione.

Seguendo un tale approccio, Gandolfi et al. (2006) hanno analizzato ed elaborato in dettaglio le portate misurate dal Consorzio della Media Pianura Bergamasca precedentemente citate.

I risultati ottenuti confermano, innanzitutto, come il regime delle portate dei fontanili sia assai variabile nello spazio e nel tempo (figura 31).

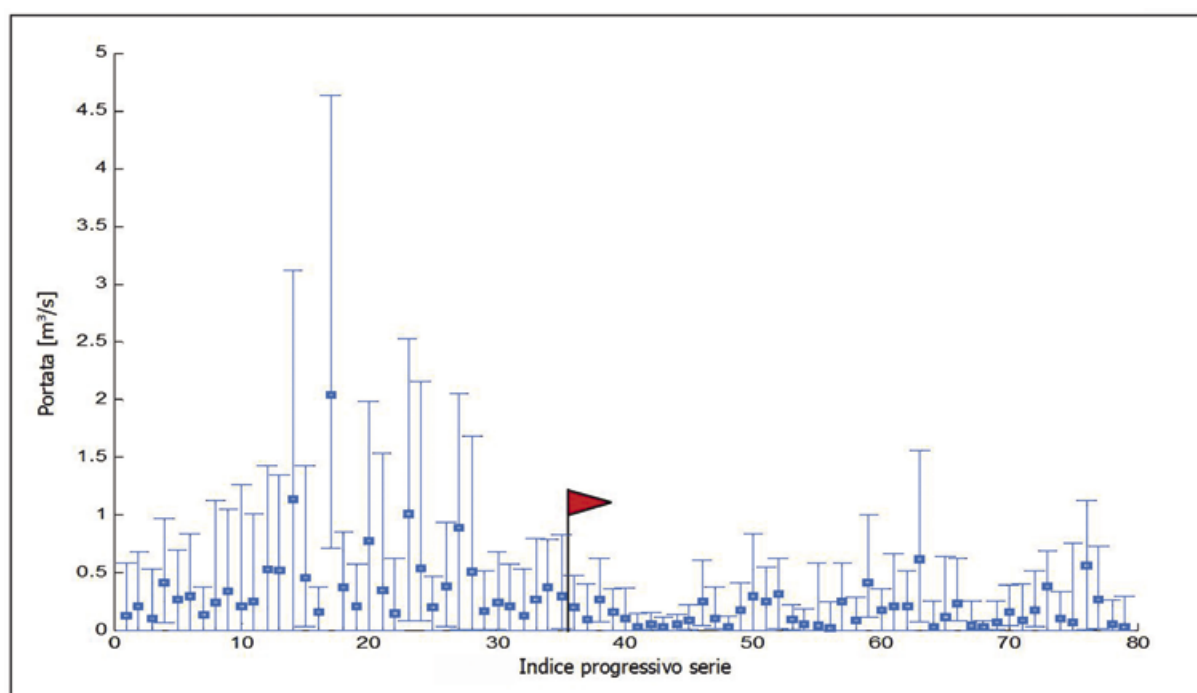


Figura 31. Medie, massimi e minimi per le serie numerate da Adda a Serio - segnalino in corrispondenza del Serio (da Gandolfi et al., 2006)

Gli stessi autori hanno cercato di spiegare questa variabilità spazio-temporale, considerando il meccanismo di alimentazione dei fontanili presi in esame e mettendo in luce come sia spesso possibile identificare un bacino di alimentazione comune ad un insieme di fontanili, più che al singolo fontanile.

Purtroppo, l'identificazione delle aree di alimentazione non è semplice. Oltre alla possibilità di avere contributi da falde a diversa profondità, si sono rivelati importanti anche gli effetti delle turnazioni irrigue nei canali e sui campi, delle colature e delle manovre di regolazione che sono possibili tra le teste dei fontanili e le aste in cui sono state fatte le misurazioni.

Nonostante tali limitazioni, comunque, gli autori hanno dimostrato che è possibile identificare un legame tra le portate complessive prodotte da gruppi di rogge fontanilizie limitrofe e le portate erogate nei distretti irrigui che si trovano a monte di esse da un punto di vista idrologico. Questo legame è piuttosto debole se si considerano le portate delle singole rogge, mentre diviene statisticamente significativo quando vengono raggruppate rogge idrologicamente simili.

Tale andamento è però “disturbato” durante la parte avanzata della stagione irrigua a causa di un complesso insieme di fenomeni (prelievi da pozzi, abbassamento della quota di pelo libero di falda e fiumi, maggiore fabbisogno colturale, maggiore utilizzo delle colature ecc.).

Nelle situazioni di maggior complessità, caratterizzate da molteplici scambi sia di tipo sottosuperficiale che superficiale, dove la determinazione dei bacini di alimentazione è più difficile e le superfici da considerare sono più ampie, tuttavia, l'identificazione è comunque possibile.

Vi sono infine alcuni casi di fontanili che mostrano una scarsa correlazione con le portate nei canali a causa di una molteplice origine delle acque d'irrigazione (presenza di pozzi) e di un diverso meccanismo di alimentazione, che sembra correlato all'andamento generale della falda e talvolta legato anche alla dinamica delle portate nei fiumi (ad esempio le fasce limitrofe al f. Serio). In queste situazioni l'andamento del regime idrometrico risulta differente da quello classico, e apparentemente costituito da fluttuazioni intorno ad un valore medio.

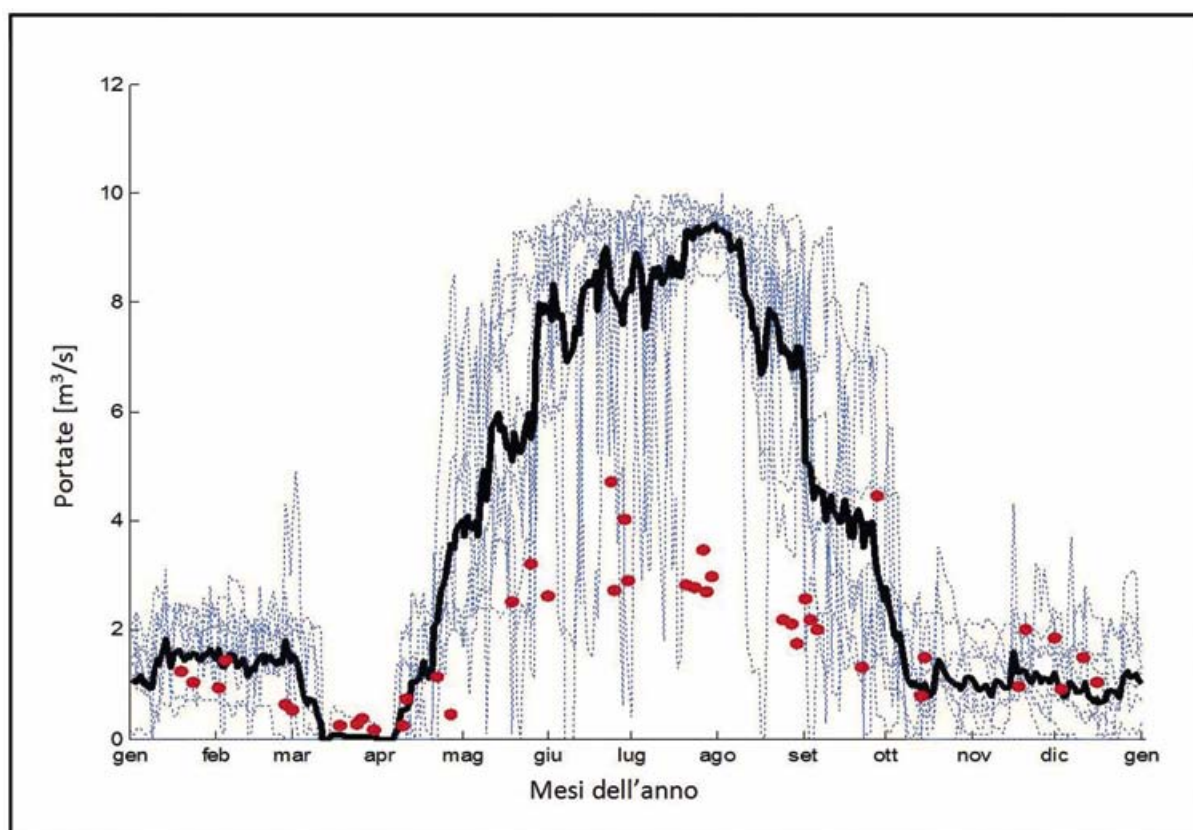


Figura 32. Sovrapposizione negli anni 1988-96 delle portate della r. Rivoltana (blu), della media delle portate della r. Rivoltana (nero) e della somma delle portate nelle aste fontanilizie da essa dipendenti (punti rossi). (da Gandolfi et al., 2006)

2- Riferimenti metodologici per la misura della portata nei fontanili

Dal punto di vista metodologico il tema del monitoraggio delle portate dei fontanili pone diversi problemi, affatto banali.

Da una parte vi è un problema specificamente idraulico legato alla precisione necessaria quando le portate in gioco sono nell'ordine dei litri al secondo con tiranti e velocità limitati. Dall'altra vi è un problema legato alla diversificazione morfologica, idraulica e di valore di portata che si riscontra nei fontanili e che rende difficile una standardizzazione delle operazioni di misura e delle strumentazioni più adeguate.

Infine, vi è il problema dell'identificazione dell'area di alimentazione dei gruppi di fontanili, che è fondamentale per la definizione delle strategie di gestione e valorizzazione. Come si è visto pre-

cedentemente, infatti, la funzionalità dei fontanili non è legata solamente al ristretto intorno del fontanile stesso, ma anche – e talvolta soprattutto – alla gestione della risorsa idrica ed alle variazioni di uso del suolo ad una scala ben più ampia che dipende da numerosi fattori.

Limitandosi alla misura della portata del singolo fontanile, è possibile identificare una grande quantità di morfologie che derivano dalla combinazione tra tipologia ed estensione della zona di affioramento, dell'asta e della zona di alimentazione. Le aree di risorgiva, in particolare, possono avere una forma ben definita di tipo circolare seguita da un'asta che alimenta la rete irrigua ma anche forme assai composite (figura 33). Tutto ciò comporta delle difficoltà nel predisporre modalità di misura standardizzate e la misura della portata presenta alcune peculiarità rispetto a quanto avviene comunemente per le acque correnti superficiali.

Si tratta, infatti, di misurare portate in genere piuttosto modeste che defluiscono con livelli idrometrici limitati e velocità basse.

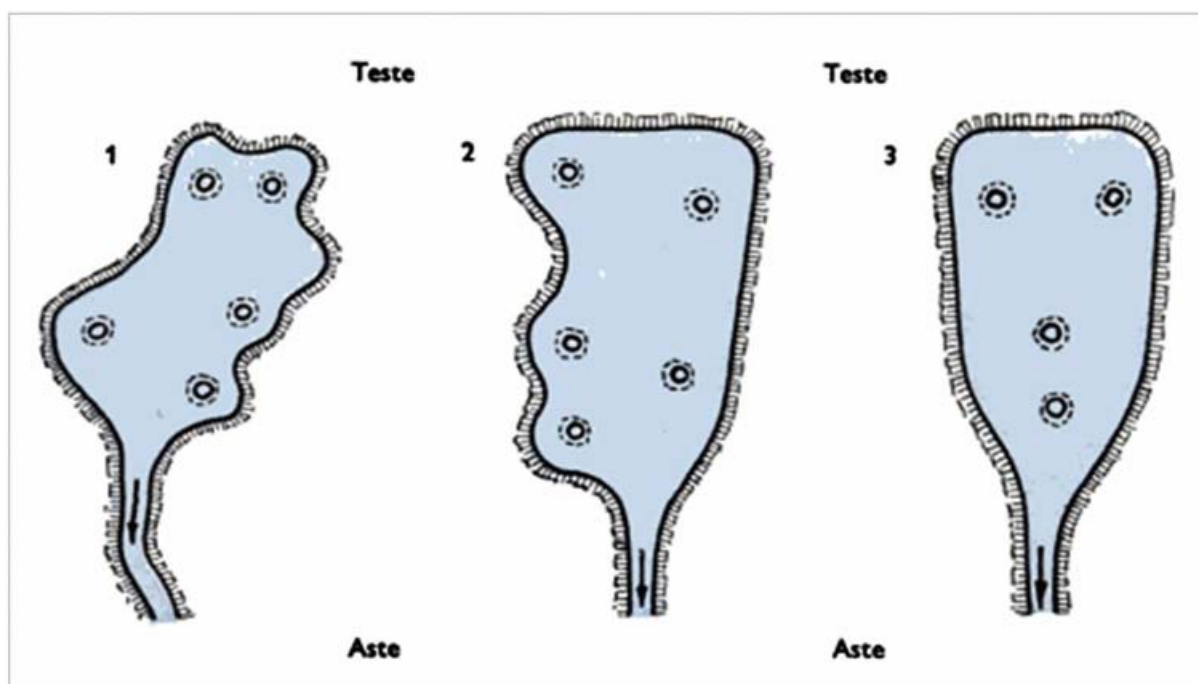


Figura 33. Tipologie di fontanile (da Desio, 1973)

In letteratura e nella pratica sono stati proposti molteplici metodi di misura della portata. In linea di massima possiamo distinguere metodi che si basano sulla misura della velocità puntuale e successiva integrazione delle portate elementari per sub-aree, metodi che si basano sulla messa in opera di strutture idrauliche che sfruttano il passaggio della corrente attraverso lo stato critico, metodi basati sulla diluizione di traccianti; nel caso dei fontanili è possibile aggiungere metodi volumetrici e metodi basati sulla salienza del getto dei tubi.

Metodi volumetrici e metodi basati sulla salienza

In letteratura si possono trovare indicazioni per la misura della portata defluente dai fontanili di tipo volumetrico, basati sul tempo necessario a riempire un recipiente di volume noto. Al di là che siano applicabili solo a piccolissime portate (per portate di qualche decina di l/s occorre un recipiente da circa 200 l), nel caso dei fontanili la difficoltà principale è quella di realizzare un sistema di riempimento del serbatoio sufficientemente semplice ed affidabile; a causa dei dislivelli in gioco, infatti, non è possibile deviare temporaneamente il flusso verso un serbatoio di misura. A tale scopo

potrebbe essere utilizzata una pompa, che però deve essere regolata in maniera tale da mantenere costante il livello nel fontanile in modo da non alterarne le condizioni di emungimento.

In alcuni casi sono state utilizzate prove di pompaggio su singoli tubi e tini, ma oltre a modificare la dinamica dell'alimentazione degli altri tubi e tini, per poter correttamente interpretare i risultati nel complesso, occorre tenere conto che si instaura un regime transitorio piuttosto differente da quello che si ha per i pozzi più profondi.

In alcuni casi si fa riferimento alla possibilità di valutare la portata sulla base della salienza del getto d'acqua che fuoriesce dai tubi. Oltre al fatto che tale metodo è applicabile solamente a quei casi dove l'alimentazione del fontanile avviene attraverso un meccanismo di artesianità, dal punto di vista meramente idraulico la precisione richiesta nella misura della salienza non è facilmente ottenibile in condizioni di campo.

Metodi basati sulla misura della velocità puntuale

Questi metodi si basano sull'applicazione del principio di continuità per areole sufficientemente piccole da poter considerare uniforme la velocità. In tale modo integrando le velocità misurate lungo verticali predefinite ed associate alle relative aree d'influenza è possibile ottenere la portata complessiva.

Per ridurre l'onere delle misure, sono state messe a punto delle metodologie standard (es. ASTM D4409, ISO 748) che sono però poco applicabili al caso dei fontanili.

Nel caso si utilizzi questo approccio occorre comunque risolvere il problema delle piccole altezze idrometriche, delle velocità modeste e della presenza di vegetazione sul fondo e sulle pareti.

Dal punto di vista pratico, i classici mulinelli idrometrici ad elica possono presentare problemi legati alla dimensione dell'elica, che possono però essere superati utilizzando micro-mulinelli oppure i correntometri elettromagnetici. I micromulinelli possono infatti essere utilizzati con tiranti che superano i 4-5 cm e velocità di 2,0-2,5 cm/s, i correntometri elettromagnetici possono essere utilizzati nelle medesime condizione e a partire da velocità nulle.

Rimane tuttavia la questione dell'accuratezza, che secondo le dichiarazioni dei costruttori varia tra 1 e 6% della velocità della corrente nel caso dei correntometri meccanici (con valori inferiori alle maggiori velocità), è di circa il 2% per gli strumenti elettromagnetici (Fulford, 2001). Fulford (2001) ha però verificato che diversi modelli da lui testati presentavano performance differenti da quelle dichiarate dalle case produttrici; in particolare, l'errore medio è risultato compreso tra il 2 e il 7% per il mulinello ad elica e inferiori al 2% per lo strumento elettromagnetico, ma con valori superiori al 25% per velocità inferiori a 0,1 m/s e che singole misure possono essere al di fuori del range di accuratezza dichiarato (30% dei casi per il modello ad elica, 20% per il modello elettromagnetico).

Recentemente gli strumenti meccanici e, almeno parzialmente, quelli elettromagnetici sono stati superati da strumenti basati sulla tecnologia doppler: gli Acoustic Doppler Velocimeter (ADV). Questi sono strumenti in grado di misurare con elevatissima precisione la velocità dell'acqua lungo due o tre dimensioni. In tale modo riescono a sopperire ai problemi tipici dei correntometri ad elica nella misura di flussi di modesta entità, pur riferendosi al medesimo approccio nel ricostruire la portata. Poiché il volume di deflusso campionato da questi strumenti è limitato (nell'ordine di poche decine di cm³), tuttavia, la quantità di punti da campionare è comunque grande e rende assai oneroso il suo utilizzo.

Alla stessa tecnologia degli ADV fanno riferimento gli Acoustic Doppler Profiler (ADP), ormai diffusi anche tra i gestori delle risorse idriche in agricoltura. Questi strumenti sono in grado di misurare la velocità per ciascuna delle celle con cui viene rappresentata la corrente, il cui numero è stabilito dall'operatore. Questi strumenti, tuttavia, mal si adattano ai limitati livelli idrometrici presenti nei fontanili; essi, infatti, hanno la necessità di avere un'altezza idrometrica superiore ad alcune decine di centimetri.

Chiaramente i problemi legati all'utilizzo dell'approccio correntometrico possono essere ridotti effettuando le misure ad una distanza opportuna dalla testa, aggregando la portata prodotta da più teste, ed in effetti è ciò che spesso viene fatto. In questo modo, tuttavia, aumenta la possibilità di

includere nella misura fattori difficilmente interpretabili, soprattutto nel tentativo di identificare le aree di alimentazione dei fontanili.

Misuratori a risalto

I misuratori a risalto, analogamente agli stramazzi, sfruttano la relazione univoca esistente tra livello e portata che si ha quando il deflusso avviene in condizioni critiche. Tale condizione viene raggiunta attraverso un graduale restringimento della sezione e/o innalzamento del fondo, che viene mantenuto per un tratto più o meno lungo; a valle del restringimento può esserci o meno un tratto di raccordo graduale al canale.

I vantaggi dei misuratori a risalto risiedono nel fatto che, sebbene operino meglio in condizioni di efflusso libero, essi funzionano bene anche nel caso di sommersione più o meno parziale; rispetto agli stramazzi, quindi, essi richiedono un minor carico di monte. Infine, è possibile realizzare strutture portatili prefabbricate in metallo, legno, resine, ecc.

Vi è un grande numero di tipologie di misuratori a risalto di diverse dimensioni e limiti di funzionamento; per una rassegna esaustiva delle diverse tipologie si può fare riferimento ai numerosi testi dedicati all'argomento (ad esempio Bos, 1989).

Una particolare categoria di questi dispositivi prende il nome di misuratori a gola allungata (Clemmens et al, 2001) ed hanno la caratteristica di avere la lunghezza della sezione di controllo molto superiore all'altezza del carico e quindi sufficiente a produrre condizioni di parallelismo delle traiettorie alla sezione critica. Ciò garantisce un buon funzionamento anche in condizioni rigurgitate e una precisione difficilmente raggiungibile con altri misuratori a risalto.

Ulteriori vantaggi rispetto ai misuratori a risalto classici sono:

- un errore inferiore al 2% nella scala dei deflussi per qualsiasi combinazione di elementi prismatici nella gola e sagomatura arbitraria del canale di approccio;
- un errore inferiore al 2% per sommergenze fino al 60% e inferiore al 5% fino a sommergenze dell'80%;
- la minimizzazione delle perdite di carico necessarie a mantenere la condizioni critica nella gola;
- la possibilità di apportare modifiche in campo ed effettuare una calibrazione sulle nuove misure;
- l'economicità di costruzione e possibilità di adattamento ad una varietà di tipologie di canali.

Anche tra i misuratori a gola allungata le tipologie sono diverse; di particolare interesse per la misura nei fontanili sono quelli portatili che consentono di adattare le caratteristiche della gola in funzione della portata e delle condizioni locali di misura. Repogle e Wahlin (1998), in particolare, propongono una struttura particolarmente interessante, che però non è facilmente reperibile sul mercato italiano.

Diluizione

Un metodo di grande precisione che può essere utilizzato con piccole portate o quando la misura della velocità puntuale è difficile, è quello della diluizione. Si tratta di immettere nella corrente traccianti chimici o fluorescenti conservativi ad elevata solubilità (comune sale da cucina, sostanze fluorescenti o radioisotopi) e di misurarne la diluizione dopo che avvenuto il miscelamento.

Vi sono due differenti approcci, uno è basato sull'immissione istantanea di volume noto di una soluzione di tracciante a concentrazione nota, l'altro è basato sull'immissione continua ad un tasso costante di una soluzione di tracciante a concentrazione nota.

In entrambi i casi attraverso la misura della concentrazione del tracciante all'interno della corrente a valle dell'immissione è possibile risalire alla diluizione e quindi alla portata della corrente stessa.

Nel primo caso è fondamentale che nel punto di valle ove si misura la concentrazione del tracciante, la corrente abbia miscelato perfettamente il tracciante stesso.

La precisione del metodo, a dispetto della sua semplicità, è elevata; in condizioni ottimali si può arrivare intorno al 4-7% di errore (Day, 1977; Johnstone, 1988), o del 10% (Harvey et al., 2003) con punte del 10-20% (Day, 1977)

Nell'applicazione di questo semplice metodo sono stati utilizzati numerosi tipi di tracciante quali la Rodamina WT (C₁₃H₁₀O) un colorante xantenico anionico la cui concentrazione minima ri-

levabile, attraverso un fluorimetro, è 10-11 g/g di soluzione, e cloruri vari, quali NaCl, KCl, LiCl, CaCl₂, rilevabili attraverso la misura della conducibilità elettrica con un comune conduttimetro portatile (il cloruro di sodio è usato anche come comune sale da cucina).

In genere, nell'uso del metodo della conducibilità viene preferito il sale da cucina per la facilità di reperimento, il basso costo, la semplicità della misura e la non tossicità verso l'ambiente (almeno alle concentrazioni utilizzate).

In genere, infatti, le concentrazioni rilevate una volta raggiunta la miscelazione sono inferiori a 100 mg/l, mentre secondo il Dlgs 152/2006 il limite di concentrazione di cloruri è di 200 mg/l per le acque superficiali destinate alla produzione di acqua potabile (tabella A/1) e di 1200 mg/l per l'emissione di cloruri nelle acque superficiali e di fognatura a (tabella 3 – allegato 5)

Per quanto riguarda l'impatto sugli animali acquatici, i livelli di tossicità indicate dalla Environmental Protection Agency degli USA per alcune specie sono di diverse migliaia di mg/l (EPA, 1988); per salmonidi e ciprinidi, poi, lo scarso contenuto di cloruri nelle acque rende più stringenti i limiti di concentrazione dei nitrati (nota esplicativa 7 alla tabella 1/B e tabella 2/B del Dlgs 152/2006). Muehlbauer et al. (2011), infine, hanno verificato che l'immissioni di soluzioni saline associate alle misure di portata hanno addirittura effetti benefici sulle comunità biotiche dei corsi d'acqua e ne raccomandano l'uso.

Il metodo della diluizione salina può essere utilizzato secondo due modalità i) un'immissione istantanea di un volume noto di soluzione salina che genera un'onda salina, ii) un'immissione continua ad un tasso costante della soluzione salina che genera a regime un valore costante della concentrazione. In entrambi i casi, la concentrazione viene registrata (attraverso la misura della conducibilità) a valle del punto d'immissione ad una distanza sufficiente da garantire la perfetta miscelazione con il flusso.

Mentre per i corsi d'acqua montani dove vi è un'elevata turbolenza e sono maggiori le difficoltà operative, nel caso dei fontanili è consigliabile ricorrere all'immissione costante. Tale modalità, che può essere agevolmente implementata utilizzando una bottiglia di Mariotte, consente di verificare che la miscelazione della soluzione salina nel flusso sia effettivamente avvenuta, ed eventualmente spostarsi più a valle o inserire dei diffusori tra il punto d'immissione della soluzione ed il punto di misura della conducibilità.

Distributed Temperature Sensing

Questo approccio utilizza la temperatura come tracciante per studiare le relazioni tra le acque superficiali e quelle sotterranee. Sebbene il principio sia stato introdotto numerosi decenni fa, solo recentemente si è affacciata la possibilità di utilizzarlo massicciamente negli studi idrologici. Negli ultimi anni, infatti, è stato sviluppato un sistema che sfruttando l'analisi di segnali laser condotti in fibre ottiche è in grado di misurare la temperatura all'interfaccia tra acque superficiali e sotterranee in maniera distribuita lungo i corsi d'acqua (fino ad un metro per oltre 10 km). Lavorando sul differenziale di temperatura tra sezioni diverse del corso d'acqua è poi possibile risalire al contributo delle acque sotterranee (più fredde) al deflusso superficiale.

Un tale metodo si è rivelato particolarmente utile proprio per valutare il contributo sottosuperficiale all'alimentazione dei corsi d'acqua superficiali (Briggs et al., 2011) e sembra essere l'ideale per lo studio della dinamica dei fontanili, anche se difficilmente potrà sostituire completamente i metodi di misura tradizionali ma piuttosto affiancarli.

Al momento tuttavia, il costo non trascurabile della strumentazione e l'elevata specializzazione del personale lo rendono al momento poco applicabile, anche se dovrebbe essere se rimanete preso in considerazione per gli studi futuri.

3- Indicazioni sulla misura delle portate nei fontanili e sulla definizione di una rete di monitoraggio

Misura delle portate

Date le caratteristiche dei diversi metodi oggi a disposizione per la misura delle portate illustrati nel precedente paragrafo e la molteplicità delle situazioni che caratterizzano i fontanili lombardi non è possibile indicare una sola metodologia di monitoraggio idraulico da assumere come standard.

Tra le metodologie illustrate, quelle più adatte al caso dei fontanili ed a cui si può fare riferimento sono: i) il tradizionale approccio basato sulla misura puntuale delle velocità, purché vengano utilizzati strumenti che garantiscano una sufficiente precisione a velocità e tiranti molto piccoli (es. ADV) e un reticolo di calcolo sufficientemente fitto; ii) il metodo della diluizione utilizzando il comune sale da cucina come tracciante ed il metodo dell'immissione continua; iii) il metodo basato sui profili distribuiti di temperatura acquisiti con le fibre ottiche. Nella situazione attuale, tuttavia, i metodi che fanno riferimento all'ADV ed al DTS sono difficilmente applicabili nella pratica operativa; per quanto riguarda l'ADV i limiti sono legati all'onerosità delle operazioni, mentre nel caso del DTS ciò è legato sia ai costi che ancora ha questa tecnologia, sia alla specializzazione richiesta nel suo utilizzo. In prospettiva futura, invece, è proprio la metodologia DTS che sembra essere la più adatta alle molteplici situazioni che si incontrano con i fontanili.

I misuratori a risalto a gola allungata portatili costituiscono un'opzione sicuramente auspicabile, soprattutto per la precisione che garantiscono, ma che è difficilmente utilizzabile su larga scala. Essa potrebbe comunque essere adottata nell'ambito di un programma per la predisposizione di scale delle portate nei fontanili più significativi.

Rete di monitoraggio

Allo stato attuale delle conoscenze non è possibile definire una rete di monitoraggio idraulico dei fontanili lombardi. Oltre all'enorme numero di fontanili ancora attivi, si è visto il loro funzionamento dipenda da numerosi fattori, sia di carattere locale, sia di carattere più generale che sono però spesso –ma non sempre- legati all'attività irrigua.

I metodi classici sui quali si basano le definizioni delle reti ottimali di punti di monitoraggio che sono comunemente utilizzati per le variabili idrologiche, di conseguenza, non possono essere utilizzati nel caso dei fontanili.

Con specifico riferimento a quanto messo in luce da Gandolfi et al. (2006), il punto da cui partire è innanzitutto quello di identificare raggruppamenti di fontanili che mostrano un comportamento omogeneo per l'andamento temporale delle portate. Come si è visto, infatti, vi sono fontanili –la maggior parte- che sono sensibili all'attività irrigua e che presentano un andamento piuttosto variabile nel tempo e in fase (ritardata) con l'esercizio irriguo. Per questo tipo di fontanili, è essenziale identificare il bacino contribuente e soprattutto i canali irrigui da cui dipende l'alimentazione; è all'interno di queste aree omogenee che sarà possibile identificare alcuni fontanili su cui concentrare il monitoraggio delle portate, mentre assume meno rilievo il monitoraggio dell'andamento generale della falda. Vi sono poi altri fontanili, la cui alimentazione è meno influenzata dalle pratiche irrigue, la portata più costante e la cui dinamica sembra dipendere da quella più generale della falda. In questi casi al monitoraggio idraulico di alcuni fontanili campione diviene fondamentale anche il monitoraggio dei livelli freatici all'interno di un'area vasta. Infine, per quei fontanili la cui dinamica è influenzata dai corsi d'acqua naturali, diviene fondamentale poter disporre anche dei livelli e delle portate di questi ultimi.

L'individuazione dei raggruppamenti di fontanili che rispondono a questi meccanismi di alimentazione, assume quindi un'importanza fondamentale e propedeutica a qualsiasi definizione ed implementazione di una rete di monitoraggio. Applicare metodi basati sulla mera funzionalità idraulica attuale o sulla distribuzione spaziale, infatti, potrebbe portare a raccogliere dati difficilmente interpretabili se non fuorvianti.

LA TUTELA DEL BIOTOPO FONTANILE

1- Riferimenti normativi

Le strategie di tutela dei corpi idrici devono oggi allinearsi con la normativa europea in materia di acque (*Water Framework Directive*, WFD, 2000/60/CE). L'obiettivo principale è quello di mantenere e di ripristinare (qualora fosse necessario) l'ambiente acquatico all'interno dei paesi membri della Comunità Europea attraverso efficaci ed innovative misure in grado di influenzare positivamente le componenti biologiche dell'ecosistema. In particolare, per i corpi idrici alterati è richiesto il raggiungimento dello stato ecologico buono entro il 2015, salvo casi particolari.

A recepimento della WFD, in Italia, il Decreto 152/2006 e le sue successive modifiche, ha introdotto importanti novità rispetto ai precedenti sistemi normativi in vigore nel nostro Paese (D.Lgs. 152/1999); vengono indicate infatti, per tutti i tipi di corpi idrici, le componenti biologica (flora acquatica, macroinvertebrati e pesci), fisico-chimica e idromorfologica quali elementi di qualità necessari per la valutazione dello stato ecologico.

Fondamentale per la classificazione ecologica è la definizione delle condizioni di riferimento, ossia quelle attribuibili ai livelli di stato buono o elevato del corpo idrico. Tali condizioni sono derivate dallo studio dettagliato delle comunità biologiche, dello stato idromorfologico e dei parametri chimico-fisici delle acque in stazioni che non presentano impatti significativi, considerate pertanto "siti di riferimento". Le condizioni di riferimento devono essere definite per ogni tipologia di corpo idrico, in considerazione del fatto che fattori ambientali naturali quali clima e idrogeologia possono determinare comunità biologiche e valori chimico-fisici differenti. Per questa ragione i corpi idrici sono stati raggruppati, sulla base di fattori geografici, climatici, geologici e morfometrici, in "tipi" considerati omogenei dal punto di vista chimico-fisico e biologico.

Il confronto tra le condizioni osservate in una data stazione di monitoraggio e quelle di riferimento note per il tipo di corpo idrico in esame permette dunque di valutare lo stato ecologico: per ogni elemento di qualità, vengono così definiti i livelli "elevato", "buono", "sufficiente", "scarso" e "cattivo". Il giudizio complessivo sullo stato ecologico del corpo idrico si ottiene poi combinando le classificazioni ottenute per le singole componenti biologiche e chimico-fisiche, secondo la regola del "one out-all out": sarà cioè il giudizio peggiore a determinare la valutazione finale. La componente idromorfologica viene poi considerata per separare a livello di classificazione gli stati buono e ottimo.

Le normative in questione si applicano mediante monitoraggio sistematico a tutti i corpi idrici significativi del territorio nazionale, mentre non vengono monitorati i sistemi idrici considerati non significativi per dimensioni o per importanza strategico-economica. Tra questi sono presenti i fontanili che, se dal punto di vista funzionale possono essere paragonabili alla zona crenale (ovvero sorgentizia) dei fiumi, rappresentano però ecosistemi di modeste dimensioni e pertanto non vengono inclusi nelle reti di monitoraggio nazionale.

Tuttavia le normative in materia di acqua si affiancano a preesistenti direttive in campo ambientale per la salvaguardia degli ecosistemi, quali la Direttiva Habitat (Direttiva 92/43/CEE), che prevede la creazione di una rete ecologica europea di zone protette a fini conservazionistici, in cui devono essere adottate le misure di gestione necessarie alla conservazione degli habitat e delle specie d'interesse comunitario. Questa rete, detta rete Natura 2000, è costituita dall'insieme dei siti ad elevata biodiversità e considerati fondamentali per la conservazione di specie a rischio.

Tra questi, molti fontanili sono stati designati come *Siti di Importanza Comunitaria* (SIC), in quanto considerati aree di particolare pregio ambientale, meritevoli di salvaguardia per il loro elevato interesse biologico ed ecologico. I fontanili costituiscono infatti aree ad elevata biodiversità, ultimo rifugio per molte specie all'interno di aree pianiziali fortemente modificate dalle attività antropiche. Per questa ragione, sarebbe auspicabile elaborare e promuovere misure di monitoraggio e conservazione per tali ecosistemi, al fine di individuare le principali minacce e criticità cui sono soggetti, sviluppando nel contempo misure idonee per la salvaguardia delle valenze naturalistiche nel contesto di uno sviluppo sostenibile del territorio.

A questo scopo l'elaborato qui proposto descrive in modo sintetico gli elementi biologici di alcuni fontanili lombardi rappresentativi schematizzando le diverse tipologie di biotopo al fine di identificare differenti e possibili modelli di "riferimento" base per un'obiettiva analisi dello stato di salute e/o evolutivo di questi ecosistemi.

2- Elementi biologici per la valutazione ecologica dei fontanili

Un elemento di novità introdotto dalla Direttiva 2000/60/CE è costituito dalla centralità delle componenti biologiche nella valutazione dello stato di qualità degli ecosistemi acquatici. Gli organismi non reagiscono tanto a fattori isolati quanto a combinazioni di più fattori, pertanto la valutazione della qualità ambientale basata sull'analisi di popolazioni e comunità ha come obiettivo il rilevamento dell'effetto complessivo generato dalle pressioni agenti sui corpi idrici.

Per quanto riguarda i corsi d'acqua (a cui i fontanili possono essere assimilati), la normativa prevede lo studio delle comunità diatomiche, macrofitiche, ittiche e di quelle a macroinvertebrati bentonici (D.M. 260/2010). In particolare per ciascuna componente viene richiesta l'analisi della composizione tassonomica, per poter descrivere le comunità in termini di abbondanza dei taxa, diversità e rapporto tra taxa sensibili e tolleranti.

Tali analisi si basano sul principio che la struttura di comunità di un ambiente stabile e di buona qualità presenta generalmente un'elevata ricchezza in specie e un equilibrato rapporto numerico fra gli individui di diversi taxa; al contrario, di fronte ad una alterazione ambientale, si verifica un impoverimento della diversità, con la scomparsa delle specie più sensibili e la proliferazione dei taxa più tolleranti.

Queste caratteristiche vengono quantificate mediante indici numerici, detti indici biotici, che consentono di tradurre le informazioni in un singolo valore numerico. Ciò permette di confrontare le comunità osservate con quelle di riferimento in modo da poter quantificare il grado di allontanamento dalle condizioni naturali.

Nella presente analisi tre elementi biologici, ossia macrofite acquatiche, macroinvertebrati bentonici e diatomee, sono stati esaminati in dettaglio, al fine di elaborare strumenti utili alla valutazione della qualità ecologico-funzionale del biotopo fontanile. In particolare, sono stati proposti dei modelli concettuali per descrivere le diverse tipologie di fontanile e lo stadio evolutivo (dalla condizione idrologica ottimale fino all'interramento), attraverso la caratterizzazione delle comunità "di riferimento" di ciascun tipo. Questa analisi costituisce un punto di partenza fondamentale per una successiva elaborazione di strumenti di monitoraggio efficaci per la definizione della qualità dei fontanili.

Le macrofite acquatiche

Le macrofite acquatiche comprendono alghe filamentose (visibili ad occhio nudo), muschi, epatiche, pteridofite e angiosperme erbacee. La loro sensibilità nei confronti dell'inquinamento e delle alterazioni strutturali dell'ambiente è stata dimostrata da diversi anni. Sono considerate ottimi indicatori di qualità ambientale in quanto sono molto sensibili ai livelli dei nutrienti, ai fitofarmaci ed anche alle componenti idromorfologiche del biotopo (velocità di corrente, presenza di determinati substrati). Sono inoltre facilmente identificabili (ad eccezione di gruppi complessi come le *Callitriche* ed i *Ranunculus*, che presentano elevata plasticità morfologica), presentano una mobilità limitata e vivono a lungo, caratteristiche che permettono di determinare lo stato trofico sito specifico, nonché gli effetti cumulativi di vari fattori di stress nel corso del tempo.



Campionamento delle macrofite acquatiche

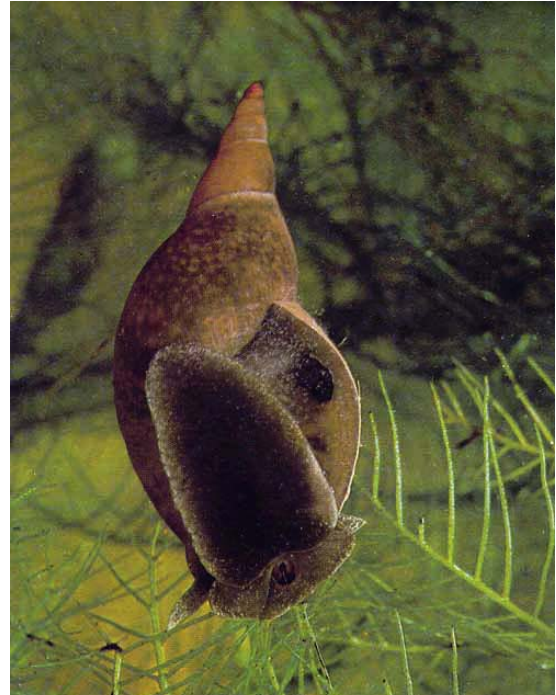
La metodica suggerita, appropriatamente modificata per l'ambiente fontanile, si basa su riferimenti normativi internazionali relativi ai campionamenti delle macrofite nelle acque correnti (UNI EN 14184, UNI EN 27828, EN ISO 9391). Il rilievo prevede la valutazione della composizione e dell'abbondanza delle Phanerophyte, Pteridophyte, Bryophyte e delle alghe filamentose visibili ad occhio nudo. Il campionamento deve essere effettuato lungo un tratto variabile di sponda e di zona acquatica lunga da 20 a 50 metri in funzione delle dimensioni della testa e dell'asta del fontanile. La determinazione a livello specifico viene effettuata sulla base di apposite chiavi dicotomiche per il riconoscimento.

Testi per il riconoscimento

- Pignatti, S.* (1982) Flora d'Italia, Edagricole Ed., Bologna
- Cortini Pedrotti, C.* (2001-2006) Flora dei muschi d'Italia. Vol 1 e 2. Antonio Delfino Ed., Roma
- John, D. M., Whitton, B. A., Brook, A. J.* (2002) The freshwater Alga Flora of the British Isles, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Lansdown, R. V.* (2008) Water-starworts, *Callitriche* of Europe, BSBI Ed., London
- Starmach K.* (1985) Chrysophyceae un Haptophyceae Vol. 1. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin
- Ettl H.* (1978) Xanthophyceae Vol. 3. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H. Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin
- Rieth A.* (1980) Xanthophyceae Vol. 4. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H. Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin
- Eloranta, P., Kwandrans, J. & Kusel-Fetzmann, E.* (2011) Phaeophyceae und Rhodophyceae Vol.7. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin
- Ettl H.* (1983) Chlorophyta I, Phytomonadina Vol. 9. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin
- Ettl H.* (1988) Chlorophyta II, Tetrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales. Vol. 10. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin
- Mrozińska T.* (1985) Chlorophyta VI, Oedogoniophyceae, Oedogoniales. Vol. 14. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin
- Kadlubowska J.Z.* (1984) Chlorophyta VIII, Conjugatophyceae I, Zygnematales. Vol. 16. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin
- Krause Werner* (1997) Charales (Charophyceae) Vol. 18. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin
- Komárek J., Anagnostidis K.* (1999-2000) Cyanoprokaryota (Chroococcales) Vol. 19/1. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin
- Komárek J., Anagnostidis K.* (1999-2000) Cyanoprokaryota (Oscillatoriales) Vol. 19/2. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin

Macroinvertebrati bentonici

I macroinvertebrati bentonici comprendono diversi gruppi di invertebrati acquatici (principalmente Insetti – in prevalenza forme larvali –, Molluschi, Crostacei, Anellidi, Irudinei, ecc.), che vivono a contatto con il substrato (benthos) e presentano dimensioni comprese tra 1 mm e qualche centimetro. Questi organismi rappresentano uno degli elementi chiave per la valutazione biologica della qualità delle acque. Sono considerati ottimi indicatori, in quanto sono animali ubiquitari, relativamente sedentari, facili da campionare e identificare, capaci di rispondere in modo diverso alle pressioni ambientali. Sono inoltre presenti con un numero elevato di individui e di specie e occupano tutti i ruoli trofici dei consumatori (dai detritivori, ai fitofagi, ai predatori). Le comunità comprendono specie a diversa valenza ecologica che presentano un'ampia gamma di strategie adattative alle differenti tipologie di stress ambientali. I cicli di vita dei macroinvertebrati sono relativamente lunghi (anche più di un anno), consentendo indagini a lungo termine sugli effetti di perturbazioni sia continue che intermittenti, derivanti da uno o più agenti di pressione.



Campionamento dei macroinvertebrati bentonici: Il protocollo di raccolta si basa sulle norme internazionali UNI EN 28265 e UNI EN 27828, che delineano le procedure di campionamento dei macroinvertebrati bentonici nei corsi d'acqua. Inizialmente vengono individuati i principali microhabitat presenti nel tratto fluviale in esame, sulla base del tipo di substrato (substrati minerali di diversa granulometria - dall'argilla alla roccia-, o substrati organici di varia natura - da alghe o macrofite a materiale organico in decomposizione-) e del tipo di flusso (da flusso non percettibile o fermo a molto turbolento) e viene valutata la percentuale di superficie occupata da ciascuno di essi. La raccolta degli organismi viene effettuata mediante di un retino immanicato campionando 10 o 20 repliche quantitative (di 0.01 oppure 0.05 m² di superficie ciascuna, a seconda del tipo fluviale), scelte in modo tale da coprire proporzionalmente tutti i microhabitat presenti nel biotopo. Un metodo alternativo può essere costituito da raccolte semiquantitative nei principali microhabitat presenti, in quanto l'elevato spessore del sedimento al fondo può ostacolare un campionamento strettamente quantitativo. I macroinvertebrati, dopo essere stati separati in campo o in laboratorio dal substrato, vengono identificati a livello di famiglia o genere con l'ausilio di uno stereomicroscopio e di apposite chiavi dicotomiche. Per alcuni taxa di piccole dimensioni, quali Oligocheti e Ditteri Chironomidi, è necessario l'allestimento di preparati per microscopia al fine del riconoscimento a livello specifico.

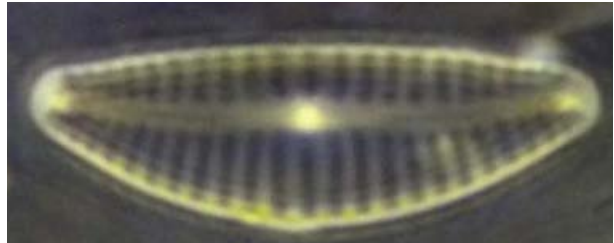
Testi per il riconoscimento:

S. Campaioli, P.F. Gheti, A. Minelli, S. Ruffo, 1994. Manuale per il riconoscimento dei Macroinvertebrati delle acque dolci italiane. Vol.1 e Vol.2. Provincia autonoma di Trento.



Le diatomee

Le Diatomee (Classe Bacillariophyceae) sono piccole alghe brune, unicellulari, munite di guscio siliceo (frustolo), generalmente delle dimensioni di pochi micrometri, che possono vivere isolate o formare colonie. Sono presenti in tutti gli ambienti acquatici. Si trovano alla base della catena trofica e rappresentano una delle principali componenti del fitobenthos. Presentano caratteristiche ecologiche che le rendono importanti indicatori biologici: sono ubiquitarie, le comunità cambiano velocemente in risposta alle variazioni dello stato trofico delle acque, sono facilmente campionabili, presentano specie con esigenze ecologiche differenti e ben riconoscibili. Le diatomee sono particolarmente sensibili alla qualità chimico-fisica dell'acqua (presenza di nutrienti e fitofarmaci), fornendo preziose informazioni.



Campionamento delle Diatomee

Il protocollo ministeriale per il campionamento delle diatomee bentoniche in ambiente fluviale è stato elaborato sulle indicazioni di norme internazionali (CEN EN 13946 CEN EN 14407) e prevede la raccolta delle alghe su substrati duri, quali pietre e sassi, oppure, in mancanza di questi, su altri substrati, quali piante e fango. A seguito dei numerosi campionamenti di diatomee in piccoli fiumi, paragonabili alla struttura di fontanili, è stata messa a punto una metodica assai efficace: la raccolta dei campioni su substrati duri artificiali (mattoni di dimensioni 30x16x5 cm, per una superficie totale di 0.1 m²). Questo approccio permette di eliminare le differenze determinate dai diversi substrati e consentendo così un confronto più diretto tra campioni. I substrati artificiali vengono posizionati al fondo (uno su sabbia o ghiaia, due, uno sopra l'altro, su limo o substrato organico fine) e fissati tramite un'asta in metallo conficcata verticalmente nel substrato per circa 70 cm. Dopo un mese di esposizione, i mattoni devono essere prelevati e con uno spazzolino vengono raschiate le superfici, in modo da asportare le diatomee che nel frattempo hanno colonizzato i substrati. In laboratorio i campioni sono digeriti per 7 giorni in acqua ossigenata (a temperatura ambiente), quindi per 24 ore in acido cloridrico. Dopo una serie di lavaggi, i frustuli delle diatomee ottenuti vengono montati su vetrini portaoggetti con una goccia di Naphrax®, secondo le indicazioni del protocollo APAT-MATTM. Infine, i campioni vengono identificati a livello di specie e contati al microscopio ottico a 1000 ingrandimenti.



Testi per il riconoscimento

Kramer K., Lange-Bertalt H. (1986 - 1997) Bacillariophyceae (Naviculaceae). Vol. 2/1. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer Ed. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin

Kramer K., Lange-Bertalt H. (1988 - 1997) Bacillariophyceae (Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae). Vol 2/2. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer Ed. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin

- Kramer K., Lange-Bertalt H.* (1991) Bacillariophyceae (Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae). Vol. 2/3. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin
- Kramer K., Lange-Bertalt H.* (1991) Bacillariophyceae (Achnanthesaceae, Navicula, Gomphonema). Vol. 2/4. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin
- Kramer K., Lange-Bertalt H.* (1986 - 1997) Bacillariophyceae (Naviculaceae). Vol. 2/1. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin
- Kramer K., Lange-Bertalt H.* (2000) Bacillariophyceae; English and French translation of the keys. Vol. 2/5. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Büdel B., Gärtner G., Krienitz L., Lokhorst G.M. Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin

3- Elementi idromorfologici e chimico-fisici dei fontanili

Le caratteristiche idromorfologiche e chimico-fisiche dei fontanili concorrono a determinare la loro funzionalità e sono spesso legate a caratteristiche ambientali locali. La funzionalità è fondamentalmente determinata dalla portata, dal tipo di substrato e dalle caratteristiche morfologiche del fontanile. Il chimismo delle acque è invece legato alle caratteristiche del territorio circostante.

Più dettagliatamente la portata è in grado di influenzare:

- a) la temperatura dell'acqua: una portata alta determina la presenza di acque con temperature tipiche del fontanile (microterme in estate, macroterme in inverno);
- b) la velocità di drenaggio di sostanze tossiche esogene (derivate dalla percolazione di nutrienti e fitofarmaci dai campi confinanti) ed endogene (sostanze ridotte quali ammoniaca e idrogeno solforato derivate dalla degradazione anossica dei substrati organici);
- c) la velocità di trasporto di materiali fini inorganici e/o organici, quindi la possibilità di operare una sorta di "autopulizia" del fondo impendendo l'accumulo di substrati fini e poco permeabili.

Il tipo di substrato è invece in grado di determinare:

- a) la velocità di emersione delle acque dal sottosuolo (quindi la portata del fontanile);
- b) il chimismo degli strati d'acqua a ridosso del substrato, dove avviene il rilascio di eventuali sostanze tossiche ridotte.

Le dimensioni del fontanile possono influenzare la biodiversità, in quanto maggiore è la larghezza dell'alveo, maggiore sarà il numero di nicchie ecologiche potenzialmente presenti.

Un altro elemento fondamentale è la presenza di una fascia riparia di vegetazione. La copertura arborea determina infatti il grado di insolazione, che influenza lo sviluppo della vegetazione sia in acqua che sulle sponde. La presenza di fasce tampone quali filari, piccoli boschetti, zone a prato stabile limitano inoltre l'immissione di nutrienti e fitofarmaci derivanti dalle acque di percolazione. Infine, l'uso del territorio in prossimità del fontanile influenza in modo evidente anche la qualità chimico-fisica delle acque che emergono dal sottosuolo: la tipologia delle coltivazioni presenti nelle aree confinanti, infatti, determina le esigenze di utilizzo di concimi e fitofarmaci e la quantità di acqua d'irrigazione impiegata.

Tutti questi elementi si ripercuotono, in ultima analisi, sulle comunità biotiche che colonizzano il fontanile, determinando la composizione in specie. Per questa ragione, in concomitanza al campionamento biologico, è utile rilevare le principali caratteristiche idromorfologiche e chimico-fisiche del fontanile a supporto dell'interpretazione dei dati biologici raccolti.

Rilevamento delle caratteristiche idromorfologiche e chimico-fisiche dei fontanili

Le principali caratteristiche idrologiche del fontanile possono essere determinate mediante l'utilizzo di un mulinello idrometrico, che permette di rilevare la velocità di corrente in diversi punti dell'alveo. Per il calcolo della portata è necessario disporre del valore di velocità di corrente nel punto di campionamento e dell'area della sezione trasversale dell'alveo nello stesso punto. Tale superficie può

essere stimata approssimando la sezione trasversale ad una forma geometrica, quale il rettangolo o il trapezio.

Le caratteristiche morfologiche vengono invece rilevate con l'aiuto di una scheda di campo, sulla quale vengono riportate informazioni quali la larghezza dell'alveo in corrispondenza della testa e dell'asta, la profondità dell'acqua, la presenza di diversi microhabitat, il grado di insolazione, l'uso del territorio circostante.

L'analisi chimica dell'acqua viene effettuata raccogliendo campioni di acqua in bottiglie di vetro, che sono conservate in frigorifero al buio fino al laboratorio. I principali parametri macrodescrittori sono analizzati mediante l'utilizzo di appositi kit per spettrofotometria (es. nitrati, fosfati, ammoniaca), o mediante titolazione (es. durezza, alcalinità) (metodi analitici APAT-IRSA: APAT Manuali e Linee Guida 29/2003). Temperatura, conducibilità elettrica, pH e concentrazione di ossigeno disciolto vengono invece solitamente rilevati al momento del campionamento mediante sonde multiparametriche.

4- Le principali tipologie di fontanile

I fontanili possono essere distinti in "tipi" in base a due importanti caratteristiche idromorfologiche, che ne regolano la funzionalità e l'ecologia: il perdurare dei periodi di secca e la forma e la dimensione della testa. Sulla base di queste caratteristiche possono essere identificati quattro modelli (o tipi) base: il primo corrisponde ai fontanili che presentano flusso continuo durante tutto il corso dell'anno o che sono interessati da brevi periodi di secca (circa un mese); il secondo è invece costituito da quei fontanili caratterizzati da prolungata assenza di acqua (da tre a sei mesi all'anno). Questi due tipi possono a loro volta essere suddivisi in altre due categorie: fontanili con testa stretta e allungata che non si distingue dall'asta e fontanili con testa larga ed ampia, nettamente distinta dall'asta per forma e per caratteristiche idromorfologiche. Le comunità biologiche di queste tipologie "base" possono subire modificazioni più o meno rilevanti a seconda dello stadio evolutivo del fontanile, ossia del suo grado di interrimento. Inoltre, possono subire alterazioni anche consistenti in seguito all'immissione di nutrienti o di altre sostanze inquinanti, quali i fitofarmaci. Per questa ragione è utile caratterizzare le comunità attese in assenza di pressioni ambientali rilevanti e verificare come queste possono modificarsi in presenza di alterazioni naturali o di natura antropica. Queste indicazioni saranno necessarie per poter elaborare, attraverso appropriate verifiche dei modelli proposti, strategie utili a quantificare il grado di discostamento dei diversi fontanili dalle condizioni di riferimento.

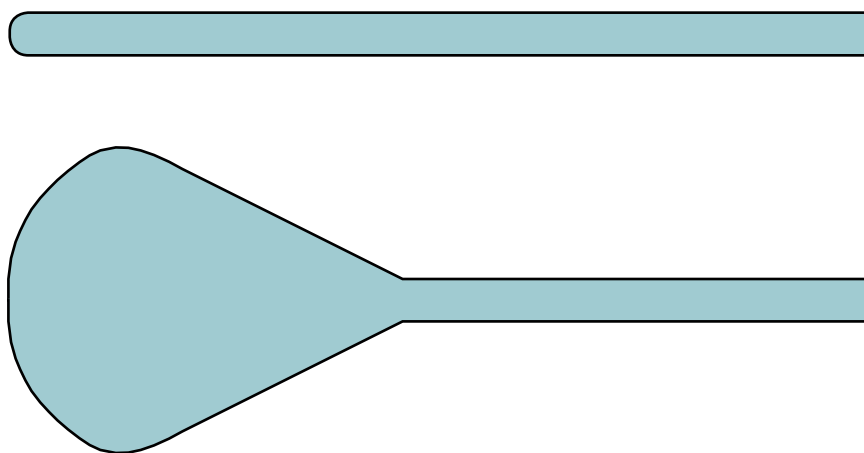


Figura 34. Schema che illustra due diverse tipologie morfologiche di fontanile: lineare (in alto); con testa larga e nettamente distinta dall'asta (in basso).

5- Comunità vegetali e macroinvertebrati bentonici nei vari tipi di fontanile

Ambiente di riva: vegetazione

Le rive dei fontanili “tipo” (che possono pertanto essere considerati i “modelli” di riferimento) possono essere alberate o prive di vegetazione arborea. Le specie arboree ed arbustive sono quelle che di norma vengono riscontrate sulle sponde dei canali irrigui della pianura, cioè la robinia, il salice bianco, l'ontano nero, il pioppo, il rovo, il sambuco ed il sanguinello. La vegetazione erbacea risulta invece essere più caratteristica. Composizione e copertura variano a seconda dell'ombreggiatura, del livello delle acque, dell'oligotrofia dell'ambiente. In tal senso fontanili con acque pulite e fresche avranno un certo tipo di vegetazione erbacea che tenderà a modificarsi nel tempo con l'incremento del livello trofico delle acque e del suolo e con il progressivo interrimento.

Nei fontanili con acqua costante tendente all'oligotrofia possono essere presenti alcune pteridofite quali *Equisetum arvense* L. ed *E. telmateja* Ehrh. Si possono riscontrare qua e là anche popolazioni di *Equisetum ramosissimum* Defs., di *E. variegatum* Schleicher o di *Thelypteris palustris* Schott. Tra le Angiosperme sono presenti piante legate agli ambienti umidi poveri di sostanza organica (come possono essere i greti dei fiumi) o ricchi in nutrienti (più simili ad un ambiente di palude o di torbiera bassa). Nel primo gruppo possono essere inserite specie come *Eupatorium cannabinum* L., *Glyceria maxima* (Hartman) Holberger, *Lysimachia nummularia* L., *L. vulgaris* L., *Mentha aquatica* L., *M. soaveolens* Ehrh., *Myosoton aquaticum* (L.) Moench, *Myosotis scorpioides* L., *Phalaris arundinacea* L., *Polygonum minus* Hudson, *P. mite* Schrank, *Saponaria officinalis* L., *Scrophularia nodosa* L., *Scutellaria galericulata* L., *Solanum dulcamara* L., *Stachys palustris* L., *Bidens tripartita* L. Nel secondo gruppo si possono riscontrare specie decisamente più esigenti a livello di nutrienti come *Barbarea vulgaris* R. Br., *Carex acutiformis* Ehrh., *C. elata* All., *C. panicolata* L., *C. pendula* Hudson, *C. riparia* Curtis, *Cyperus fuscus* L., *C. longus* L., *Epilobium hirsutum* L., *Galium mollugo* L., *G. palustre* L., *Iris pseudacorus* L., *Lycopus europaeus* L., *Lythrum salicaria* L., *Juncus articulatus* Wild., *J. conglomeratus* L., *J. effusus* L., *J. inflexus* L., *Phragmites australis* (Cav) Trin., *Rorippa amphibia* (L.) Besser, *R. austriaca* (Crantz) Besser, *R. palustris* (L.) Besser, *Rumex conglomeratus* Murray, *R. hydrolapatum* Hudson, *R. sanguineus* L. e *Symphytum officinalis* L.. Nei fontanili con forte copertura arborea e con conseguente forte ombreggiamento è possibile incontrare vaste popolazioni di *Cucubalus baccifer* L.. Il progressivo interrimento o la costante immissione di acque inquinate altera il delicato equilibrio ecologico che caratterizza la sponda del fontanile spostando la vegetazione verso facies più eutrofe. Iniziano ad apparire specie generaliste non legate agli ambienti umidi come le ortiche (*Urtica dioica* L.), molte specie tipiche del fontanile iniziano a sparire e altre a prendere il sopravvento. Giunchi (*Juncus*), carici (*Carex*), cannuce di paludi (*Phragmites australis*), forbicine (*Bidens frondosa* L.) e pepe d'acqua (*Polygonum hydropiper* L.) divengono ben presto le piante dominanti, riducendo pertanto l'iniziale biodiversità.

Ambiente acquatico: vegetazione acquatica e macroinvertebrati bentonici

Condizioni di alterazione non significativa: fontanili perenni

Nei fontanili a forma lineare, dove la testa non è ben distinta dall'asta, le caratteristiche idromorfologiche del biotopo appaiono essere complessivamente costanti, senza particolari differenze tra testa e asta. Il flusso d'acqua è rilevante e i depositi fini (organici e non) vengono costantemente asportati dal fondo ad opera della corrente. Il substrato è quindi prevalentemente ghiaioso-sabbioso e il tipo di flusso varia da liscio a turbolento. L'elevato grado di rimescolamento delle acque e l'elevata velocità di deflusso fanno sì che tra testa ed asta le caratteristiche chimico-fisiche delle acque siano molto simili.

Nei fontanili con la testa ampia, nettamente distinta dall'asta, le caratteristiche di queste due zone possono invece essere alquanto differenti. Nella testa il flusso dell'acqua è limitato o, in alcuni casi, quasi impercettibile. Questo può determinare la presenza (soprattutto verso le rive) di zone con substrati più limosi ed organici dove proliferano lussureggianti isole di vegetazione emergente. L'a-

sta è invece caratterizzata da forte corrente e da substrati più grossolani di tipo sabbioso-ghiaioso. Di conseguenza, anche le caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua possono essere diverse nelle due zone: nell'asta la temperatura dell'acqua è di norma più calda, o più fredda, a seconda della stagione, data la maggiore influenza dalla temperatura dell'aria su di essa; nell'acqua della testa l'ossigeno disciolto può arrivare a valori di ipossia durante la notte a causa dei processi di decomposizione di sostanza organica del fondo, fenomeno non osservabile nell'asta. Queste caratteristiche permettono di assimilare la testa ad un ambiente lentico (ossia di acqua ferma) e l'asta ad uno lotico (ossia di acqua corrente), il che può determinare la presenza di comunità biotiche potenzialmente diverse nei due settori del fontanile



Figura 35. Fontanile perenne di forma lineare (fontanile Quattroponti, Liscate, MI)

La vegetazione di questi ambienti è costituita da alghe macroscopiche filamentose, da muschi e da Angiospermophyta. Nella primavera e nel tardo autunno una diatomea coloniale - *Melosira* spp. - diviene la specie dominante, coprendo fondo e vegetazione del fontanile. Di contro, durante l'estate prendono il sopravvento le alghe verdi. Le più diffuse appartengono al genere *Cladophora*. All'interno di questo genere, peraltro assai complesso dal punto di vista sistematico, le specie poco ramificate e galleggianti tendono ad essere le più diffuse, mentre quelle molto ramificate risultano essere abbastanza rare. In molti casi, attaccati a rami o a sassi sommersi, sono visibili piccole palline verdi o minute alghe gelatinose giallo-verdi più o meno appiattite. Le più comuni sono: *Chaetophora tuberculosa* (Roth) C. Agardh, *C. incassata* (Hudson) Hazen, *C. pisiformis* (Roth) C. Agardh e *Microspora* spp. Due alghe rosse, *Batrachospermum gelatinosum* (L.) De Candolle e *Hildebrandia*

rivularis (Liebman) J. Agardh, indicatrici di acque fredde ed oligotrofe, sono spesso presenti nelle teste e lungo le aste di questa tipologia di fontanile. Tra le briofite è presente *Riccia fluitans* L., una rara epatica acquatica. Nelle teste, soprattutto in vicinanza delle zone di emersione dell'acqua, sono presenti alcuni muschi. I più comuni sono *Eurhynchium speciosum* (Brid.) Jur, *Rhynchostegium riparioides* (Hedw.) Card. e *Drepanocladus polygamus* (Schimper) Hedenäs. Più raramente sono presenti *Amblystegium humile* (Beauv.) Crundw, *A. subtile* (Hedw) Schmid e *A. tenax* (Hedw) C. E. O. Jensen.. Nelle aste, in corrente e ancorati ai sassi, *Fontynalis antipyretica* Hedw e *F. hypnoides* Hartm formano lunghi ciuffi verde scuro fluttuanti nella corrente. Tra le Angiosperme sono presenti specie che vivono sommerse e che generalmente fioriscono sott'acqua come *Zanichellia palustris* L., *Groenlandia densa* (L.) Fourr, *Lemna trisulca* L. e specie che vivono sotto la superficie acquatica ma che fioriscono sopra questa, come *Ceratophyllum demersum* L., *Myriophyllum spicatum* L., *M. verticillatum* L., *Potamogeton pusillus* L., *P. gramineus* L., *Ranunculus trichophyllus* Chaix, *R. aquatilis* var. *heleophyllus* (Arvet Toupet) Heg, *Callitriche obtusangula* Le Gall e *C. palustris*. Nelle teste con una certa corrente e nelle aste sono presenti le forme sommerse di *Berula erecta* (Hudson) Covile (fo *submersa*) e di *Spharganium emersum* (G et G.) Arcang (*subsp fluitans*), taxa che in questa condizione adattativa tendono a riprodursi solo per via vegetativa. Altre piante, questa volta con parte del fusto, foglie e fiori emergenti caratterizzano le teste e le aste. Questa flora è costituita da *Berula erecta* (Hudson) Covile e *Cardamine amara* L. (nei pressi delle sorgenti e dove il substrato è più grossolano), da *Apium nodiflorum* (L.) Lag., *Nasturtium officinalis* R. Br., *Veronica anagallis-aquatica* L., *Myosotis scorpioides* L. e *Mentha aquatica* L. dove il fondo presenta accumuli di substrati più fini ed organici. Meno comunemente è possibile trovare piante di *Rumex hydrolapatum* Hudson, *R. conglomeratus* Murray, *R. sanguineus* L., *Solanum dulcamara* L. e *Lysimachia nummularia* L. Le parti delle teste con acqua più stagnante possono essere colonizzate in breve tempo da *Lemna minor* L., una piccola pianta galleggiante. E' bene sottolineare che nei fontanili sono presenti specie rarissime per il contesto padano, come *Utricularia vulgaris* L. ed *Hottonia palustris* L.. Queste piccole e delicate piantine, un tempo assai diffuse, rappresentano oggi elementi relittuali di una flora delle zone umide ormai quasi del tutto scomparsa.

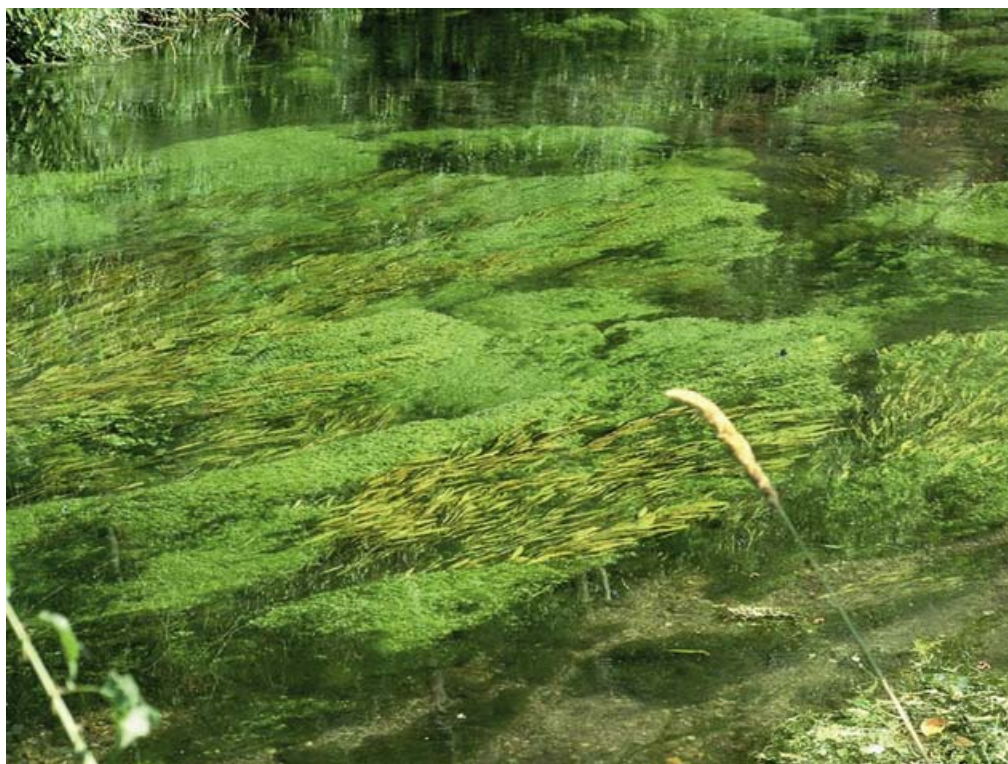


Figura 36. Fontanile perenne con testa e asta distinte (fontanile Tormo-Murata, Arzago d'Adda, BG). Si noti la ricchezza della vegetazione acquatica

La comunità a macroinvertebrati nei fontanili a forma lineare non presenta particolari differenze tra testa ed asta, risultando caratterizzata in entrambi i settori da taxa con diverse esigenze ecologiche, dai reofili, più strettamente legati ad acque correnti, ai taxa lenticici, legati ad acque ferme. Questa estesa colonizzazione dipende dalla diversificazione in microhabitat di questi biotopi che, di norma, presentano zone a corrente veloce con substrati grossolani alternati a zone rifugio maggiormente riparate dalla corrente (macchie di vegetazione e zone ripariali, spesso caratterizzate da substrati più fini ed organici). In questo contesto i taxa di macroinvertebrati si distribuiscono in relazione alle preferenze trofiche, sfruttando tutte le fonti alimentari che il fontanile offre. La comunità è dominata dai Ditteri Chironomidi, un gruppo ad elevata ricchezza di specie, con una netta prevalenza di Orthocladiinae reofile, quali *Orthocladius*, *Euorthocladius*, *Eukiefferiella*, mentre Chironomini detritivori quali *Chironomus*, *Tanytarsus* e *Micropsectra* sono presenti in minor quantità. Un altro gruppo ben rappresentato sono i Crostacei, quali *Echinogammarus stammeri* e *Asellus*, che possono raggiungere densità anche elevate. Questa tipologia di fontanile si caratterizza anche per una notevole diversificazione dei Molluschi, favoriti dall'elevata durezza delle acque: nelle zone più riparate dalla corrente si trovano bivalvi filtratori quali *Pisidium* e Gasteropodi raschiatori di patine algali, appartenenti alle famiglie dei Bithyniidae, Valvatidae, Planorbidae, Lymnaeidae, Physidae. I substrati duri in corrente sono di norma colonizzati da specie appartenenti al genere *Ancylus*. Gli Efemerotteri sono un altro gruppo di Insetti ricco in specie in grado di colonizzare diversi microhabitat: dai reofili come gli Heptageniidae, ai lenticici *Baetis* e *Caenis*, ai fossori appartenenti al genere *Ephemera*. I Tricotteri (Limnephilidae, Odontoceridae) colonizzano substrati grossolani e le macrofite acquatiche. Le macchie di vegetazione sono abitate anche dagli Odonati quali *Calopteryx*, *Coenagrion*, *Orthetrum*, *Platynemis*, predatori di altri invertebrati. Un altro gruppo importante è rappresentato dai Coleotteri, con i Dytiscidae predatori, gli Elminthidae reofili e gruppi più lenticici quali Haliplidae e Hydrophilidae. Caratteristico è anche il gruppo dei Tricladi, o vermi piatti che, secondo la letteratura scientifica più attuale, sono considerati buoni indicatori di qualità ambientale. Seguono gruppi minori quali gli Irudinei (le sanguisughe, predatrici o parassiti e di invertebrati), gli Oligocheti, che colonizzano i substrati molli (Tubificidae) e la vegetazione sommersa (Naididae) e gli Eterotteri che, vivendo generalmente in prossimità della superficie dell'acqua, risultano meno influenzati dalla qualità chimico-fisica (Gerridae, Veliidae). Nelle zone a maggiore corrente possono essere presenti i Ditteri Simuliidae. Questa estrema diversificazione si traduce in un'elevata ricchezza in specie e in una buona equabilità: esiste cioè un buon equilibrio numerico fra gli individui appartenenti ai diversi taxa della comunità.

Nei fontanili a testa larga, distinta dall'asta, la ricchezza in specie è notevole in quanto la diversificazione degli habitat risulta solitamente elevata. Qui tendono a prevalere taxa lenticici, tra cui anche organismi adattati a sopravvivere in condizioni di ipossia. Nella testa prevalgono i Chironomidi, con taxa tubicoli e detritivori che si nutrono di materia organica presente nei sedimenti fini, quali *Polypedilum*, *Tanytarsus*, *Micropsectra*. Sono presenti anche i Gammaridi e Molluschi Planorbidae (*Planorbis*, *Planorbarius*) e Lymnaeidae. Sui substrati ghiaiosi si trovano Tricotteri quali Ecnomidae e Psychomyidae e in presenza di macrofite gli Hydroptilidae. Altri Insetti facilmente riscontrabili sono i Coleotteri Hydrophilidae ed Elminthidae, mentre possono essere assenti gli Efemerotteri, che risultano essere più esigenti nei confronti delle quantità di ossigeno disciolto. Questi si trovano invece nelle aste (*Serratella*, *Baetis*, *Siphonurus*) dove la comunità tende ad assomigliare maggiormente a quella dei fontanili lineari e presenta, generalmente, una maggiore ricchezza in specie rispetto alla testa. I Gammaridi, assieme ai Chironomidi reofili, tendono qui a diventare dominanti. Ogni gruppo tassonomico risulta essere più differenziato e compaiono taxa assenti nella testa. A volte, ad esempio, è possibile rinvenire Crostacei di più grandi dimensioni, come gli Atyidae o i Decapodi del genere *Austrapotamobius*.

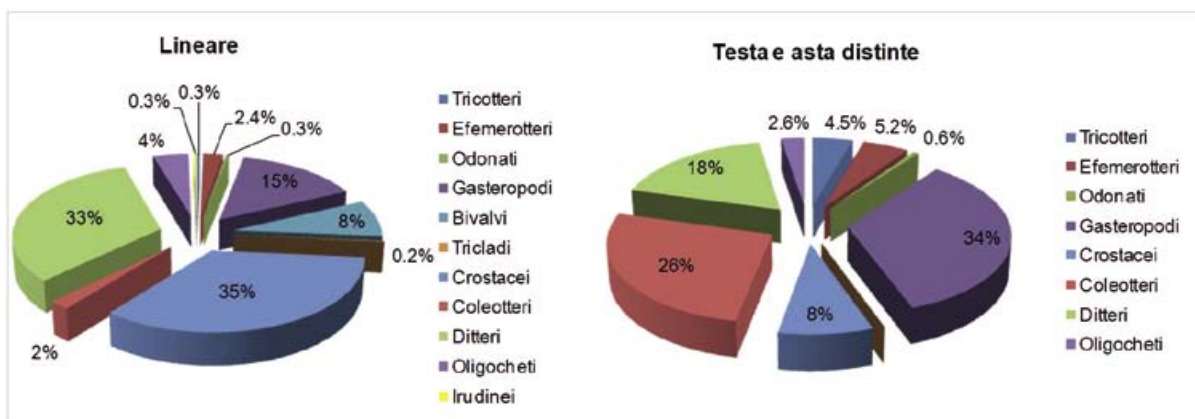


Figura 37. Composizione tassonomica della fauna a macroinvertebrati rilevata in un fontanile lineare (sinistra, fontanile Merlo Giovane, Rivolta d'Adda, CR) e di un fontanile con testa e asta distinte (destra, fontanile Muzzetta, Rodano, MI) durante un campionamento primaverile. Le percentuali si riferiscono al numero di individui.

Condizioni di alterazione non significativa: fontanili periodici

I fontanili con periodi di secca che perdurano per molti mesi all'anno presentano caratteristiche peculiari che li differenziano da quelli "perenni". Il substrato può essere prevalentemente ghiaioso-sabbioso, sabbioso-limoso o limoso-organico, in base alla presenza o meno della vegetazione arborea e arbustiva sulle sponde. Questa vegetazione, perdendo le foglie in autunno, determina infatti un incremento della quantità di materiale organico sul fondo del fontanile, che accumulandosi, forma con il tempo lettieri più o meno consistenti. Durante il periodo di secca, ossia in inverno ed in primavera, il materiale organico in decomposizione crea un ricco substrato per la vegetazione anfibia che lo stabilizza impedendo che il flusso di acqua estiva lo trascini verso l'asta. D'estate, man mano che la portata aumenta, l'ambiente acquatico nella testa passa da condizioni lentiche a condizioni via via sempre più lotiche, anche se la vegetazione erbacea permette il mantenimento di microhabitat riparati dalla corrente, dove possono permanere taxa più lenticici. La testa e l'asta possono presentare condizioni simili, soprattutto se la copertura arborea è paragonabile, o possono mostrare differenti caratteri ecologici se le caratteristiche idromorfologiche dei due tratti sono diverse.



Figura 38. Fontanile con lunghi periodi di secca (Vignate, MI). La vegetazione di questi ambienti è caratterizzata da specie che crescono normalmente in prossimità delle sponde e che in questi fontanili conquistano l'intero alveo.

Le alghe rappresentano una facies della vegetazione decisamente effimera, potendo apparire e scomparire nell'arco di una o due settimane, tale per cui in questa tipologia di fontanile l'assetto algale non si discosta molto dal precedente; *Melosira* spp. e *Cladophora* con specie poco ramificate e non ancorate al substrato sono le più comuni. Diffuse sono anche le *Chaetophorae* che si sviluppano su rami semisommersi.

Tra le briofite le specie dominanti sono quelle tipiche degli ambienti umidi saltuariamente inondati. I più frequenti appartengono al genere *Amblystegium* con specie come: *A. humile* (Beauv.) Crundw, *A. subtile* (Hedw) Schmid, *A. tenax* (Hedw) C. E. O. Jensen., *A. varium* (Hedw.) Lindb. Così come per i muschi, anche le angiosperme presenti in questa tipologia di fontanile sono tipiche di ambienti umidi saltuariamente inondati. Le specie dominanti sono pertanto *Phalaris arundinacea*, *Polygonum mite*, *P. minus*, *Glyceria maxima*, *Pragmites australis*. Sono spesso presenti anche *Lysimachia nummularia*, e specie del genere *Mentha* come *M. aquatica* e *M. suaveolens* Ehrh.

La fauna a macroinvertebrati acquatici, dopo il lungo periodo di secca, va incontro ad un processo di ricolonizzazione, che vede la rapida ricomparsa dei taxa pionieri ad ampia capacità di dispersione come ad esempio le specie di Insetti in grado di volare per lunghe distanze e altri taxa come *Planorbarius* sp., i Lumbricidi e alcune specie di Chironomidi semiterrestri dotati di forme di resistenza alla carenza di acqua e capaci di sopravvivere negli interstizi umidi del suolo. Nelle primissime fasi di ripopolamento si trovano generalmente pochi taxa con pochi individui, che tendono man mano a proliferare occupando le nicchie ecologiche vuote. Tra questi troviamo Chironomidi dotati di emoglobina resistenti all'anossia, quali *Chironomus* e *Micropsectra*, Gasteropodi Planorbidae e Lumbricidi come ad esempio *Eiseniella tetraedra*. Altri rapidi colonizzatori sono i Coleotteri predatori, come i Dytiscidae, gli xilofagi e fitofagi come gli Elminthidae. Man mano che le condizioni idrologiche si stabilizzano, soprattutto lungo l'asta dove l'ambiente è più favorevole a causa della ricchezza in ossigeno, compaiono altri taxa che limitano la proliferazione delle specie pioniere. Le condizioni tendono pertanto ad assomigliare sempre più a quelle dei fontanili perenni: poco alla volta compaiono Tricotteri (Hydropsychidae, Hydroptilidae), Efemerotteri (*Baetis*, *Centroptilum*, *Cloeon*) e Odonati (*Calopteryx*, *Sympetrum*). Possono perfino essere presenti taxa spiccatamente reofili come i Simuliidae. I Crostacei Gammaridae e Asellidae sono spesso presenti in un numero limitato, probabilmente a causa della necessità di tempi più lunghi per la colonizzazione.

Situazioni di scostamento dalle condizioni di base: fontanili con scarichi in testa o in asta

Dove le acque del fontanile vengono arricchite di materiale organico alloctono, ad esempio da concime di origine animale o da scarichi fognari di aziende agricole o di piccoli centri abitati, predominano i processi di decomposizione ed i substrati limosi si arricchiscono di azoto e fosforo.

Nei fontanili in cui prevalgono condizioni lentiche, come in alcune teste, il fondo diventa molto spesso asfittico e dai substrati viene rilasciato idrogeno solforato, un gas dal tipico e sgradevole odore di zolfo uova marce. I valori di conducibilità elettrica aumentano molto, mentre i livelli di ossigeno disciolto possono arrivare a valori prossimi allo zero, soprattutto durante la notte, quando le piante non fotosintetizzano. I nutrienti (nitrati e fosfati) possono essere presenti con elevate concentrazioni anche nelle acque che sgorgano dal sottosuolo, in quanto i fertilizzanti utilizzati per le attività agricole nelle aree circostanti possono raggiungere le falde più superficiali mediante percolazione nel terreno. Dove i livelli di nutrienti sono elevati possono proliferare specie algali opportuniste, soprattutto nelle zone marginali della testa, determinando fenomeni di eutrofizzazione: i processi di decomposizione prevalgono, generando situazioni di anossia al fondo.



Figura 39. L'immissione di scarichi organici nelle acque del fontanile inducono fenomeni di decomposizione che a loro volta portano ad un crollo dei valori di ossigenazione e ad un incremento di sostanze ridotte tossiche quali l'ammoniaca e l'idrogeno solforato

Dove invece dominano le condizioni lotiche, come nei fontanili a struttura lineare o in quelli ad elevata portata, il flusso più veloce e moderatamente turbolento favorisce il trasporto della sostanza organica a valle, impedendone l'accumulo al fondo e velocizzando i fenomeni di decomposizione aerobica. Questo processo, detto di autodepurazione, consente a questa tipologia di fontanili di risentire meno dell'impatto determinato dall'apporto di sostanza organica alloctona. Anche i fitofarmaci e i pesticidi possono raggiungere le acque del fontanile, determinando un impatto diretto sulle comunità di flora e fauna, che possono risultare notevolmente impoverite.

Le alghe che riescono a colonizzare questo tipo di fontanile sono soprattutto quelle azzurre del genere *Oscillatoria*, alcune gialle del genere *Vaucheria* spp, alghe verdi del genere *Spyrogira*, *Zygnema*, *Mougeotia*, *Oedogonium* e *Ulothrix*. Le cladofore poco ramificate tendono ad essere sostituite dalle specie più ramificate. Qua e là, su rami semigalleggianti e se l'acqua non è troppo inquinata, è possibile scorgere qualche piccola colonia di *Chaetophora elegans* (Roth) C. Agardh. Di norma non sono presenti muschi ed epatiche, che evidentemente sono legate a condizioni di trofia più bassa. Tra le angiosperme la facies strettamente acquatica è costituita da *Elodea canadensis* Michx., *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton pectinatus* L. *P. nodosum* Poir., *P. natans* L., *P. lucens* L. *P. crispus* L., *Vallisneria spiralis* L. e da *Callitriche* con assetti cromosomici $2n=10$ e $2n=20$, tendenzialmente differenti dalle specie descritte nelle flore italiane ufficiali (Gomarasca et al. 2012). La vegetazione emergente annovera specie nitrofile come *Polygonum hydropiper* L., *Spharganium erectum* L. e *Alisma plantago aquatica* L., ma anche specie a più ampio spettro ecologico quali *Spharganium emersum* subsp. *fluitans*, *Apium nodiflorum*, *Nasturtium officinale* e *Veronica anagallis-aquatica*. Sulla superficie di questi fontanili vi sono spesso ampie coperture di *Lemna minor* e di *Lemna minuta* Humb., specie alloctona maggiormente nitrofila.

La comunità a macroinvertebrati risente direttamente dell'arricchimento organico (dovuto sia all'immissione di reflui organici sia a seguito di fenomeni più generali di eutrofizzazione), in quanto esso determina un decremento dei livelli di ossigenazione dell'acqua, condizioni in cui solo i taxa resistenti ed opportunisti riescono a sopravvivere e a proliferare, spesso in assenza di competizione. Di contro, gli organismi non risentono direttamente dell'aumento delle concentrazioni di nitrati e

fosfati, che non hanno azione tossica diretta sugli animali se non a concentrazioni molto elevate. Va sottolineato che le acque dei fontanili presentano spesso un livello di trofia abbastanza contenuto, pertanto l'immissione di limitate quantità di sostanza organica e di nutrienti potrebbe avere un effetto positivo sulla comunità a macroinvertebrati, favorendo la componente detritivora. Quando però tale immissione supera le capacità di autodepurazione delle acque, la comunità inizia ad essere drasticamente selezionata: taxa che necessitano di livelli di ossigenazione medio-alti vengono progressivamente eliminati (Efemerotteri e Tricotteri, ad eccezione di alcune specie che tollerano alti livelli di inquinamento organico, come *Serratella ignita* e alcuni taxa di Hydropsychidae). Proliferano taxa eurieci come i Gammaridae, che possono arrivare a costituire la quasi totalità della comunità con densità di individui elevatissime. Altri taxa resistenti sono gli Asellidae, i Chironomidi (soprattutto quelli dotati di emoglobina, come alcune Tanypodinae e molte Chironominae), i Lumbricidae e le sanguisughe dei generi *Erpobdella* e *Dina*. Tra la malacofauna si possono riscontrare specie di Planorbidae, mentre altri taxa come *Ancylus* e *Pisidium* scompaiono, essendo maggiormente legati ad ambienti oligotrofi.

Situazioni di scostamento dalle condizioni di base: fontanili in via di interrimento

Nel corso del tempo l'accumulo del materiale organico proveniente dalle rive dà origine a spessori più o meno consistenti di substrati fini a diverso grado di disgregazione. Questi accumuli di materiale tendono progressivamente ad ostacolare la fuoriuscita delle acque dal sottosuolo e di conseguenza a limitare la portata del fontanile. Questi fattori agiscono sinergicamente portando il fontanile ad uno stato di forte degrado. I substrati, spesso asfittici, rilasciano composti ridotti come ammonio ed idrogeno solforato, tossici per una buona parte della flora acquatica e della fauna bentonica.



Figura 40. Fontanile parzialmente interrato. Il substrato fine tende ad accumularsi sul fondo e contemporaneamente si osserva uno sviluppo massivo di alghe filamentose (Zygnematales).

Inizialmente la testa del fontanile presenta ancora un sottile strato d'acqua e la vegetazione tipica è rappresentata quasi esclusivamente da alghe resistenti all'aumento di nutrienti e di composti ridotti. Le più comuni sono *Spyrogira* spp., *Zygnema* spp. e *Mougeotia* spp., che possono anche arrivare a

coprire tutto lo spazio centrale della testa. Con il tempo, il continuo accumulo di substrati trasforma la testa in una tipica area paludosa. Quello che un tempo era un fontanile ora è occupato da una vegetazione simile a quelle di sponda dove predominano equiseti (*Equisetum telmateja* Ehrh), poligoni (*Polygonum mite*, *P. minus*, *P. hydropiper*), alcuni crescioni (*Barbarea vulgaris* R. Br., *Rorippa austriaca* (Crantz) Besser, *R. amphibia* (L.) Besser, *R. palustris* (L.) Besser), fragmiti e cannuce (*Pragmites australis* (Cav) Trin, *Phalaris arundinacea* L.) per le facies meno eutrofe e tife e coltellacci (*Typha angustifolia* L., *T. latifolia* L., *Sphagnum erectum*) per quelle più eutrofe. Nei fontanili con lunghi periodi di asciutta i processi d'interramento non prevedono il periodo di transizione con vegetazione algale.



Figura 41. Fontanile interrato. La vegetazione diviene simile a quella di una palude dominata da giunchi, carici, cannuce e tife.

La fauna a macroinvertebrati durante il processo di interramento va incontro ad una modificazione progressiva, in risposta al subentrare di condizioni sempre più lentiche, che portano in ultima analisi alla condizione di acque completamente ferme e sempre meno profonde. Questo processo comporta una lenta omogeneizzazione dei microhabitat che tendono a ridursi, in presenza di copertura arborea, ad accumuli di materiale vegetale in decomposizione. Inoltre, la vegetazione riparia tende ad occupare progressivamente l'alveo, riducendo ulteriormente le nicchie per la fauna acquatica. La diversità subisce quindi un lento declino che si manifesta con l'iniziale scomparsa dei taxa reofili per poi arrivare all'esclusione di tutti quegli organismi che non trovano più alcun substrato ideale adatto alla colonizzazione. Restano prevalentemente taxa detritivori (Chironomidae, Tubificidae, Lumbricidae, Asellidi, *Cloeon*), raschiatori (Gasteropodi Lymneidae) e predatori (Coleotteri quali i Dytiscidae e Eterotteri come i Gerridae e i Notonectidae).

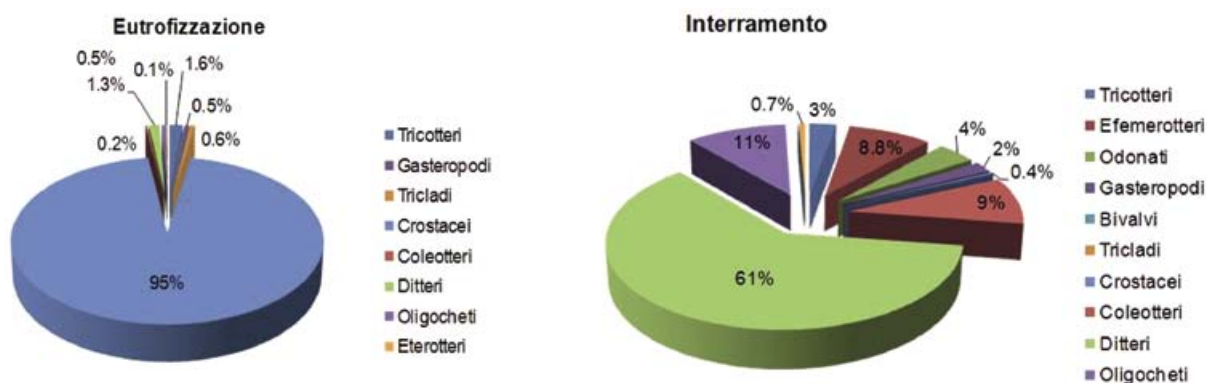


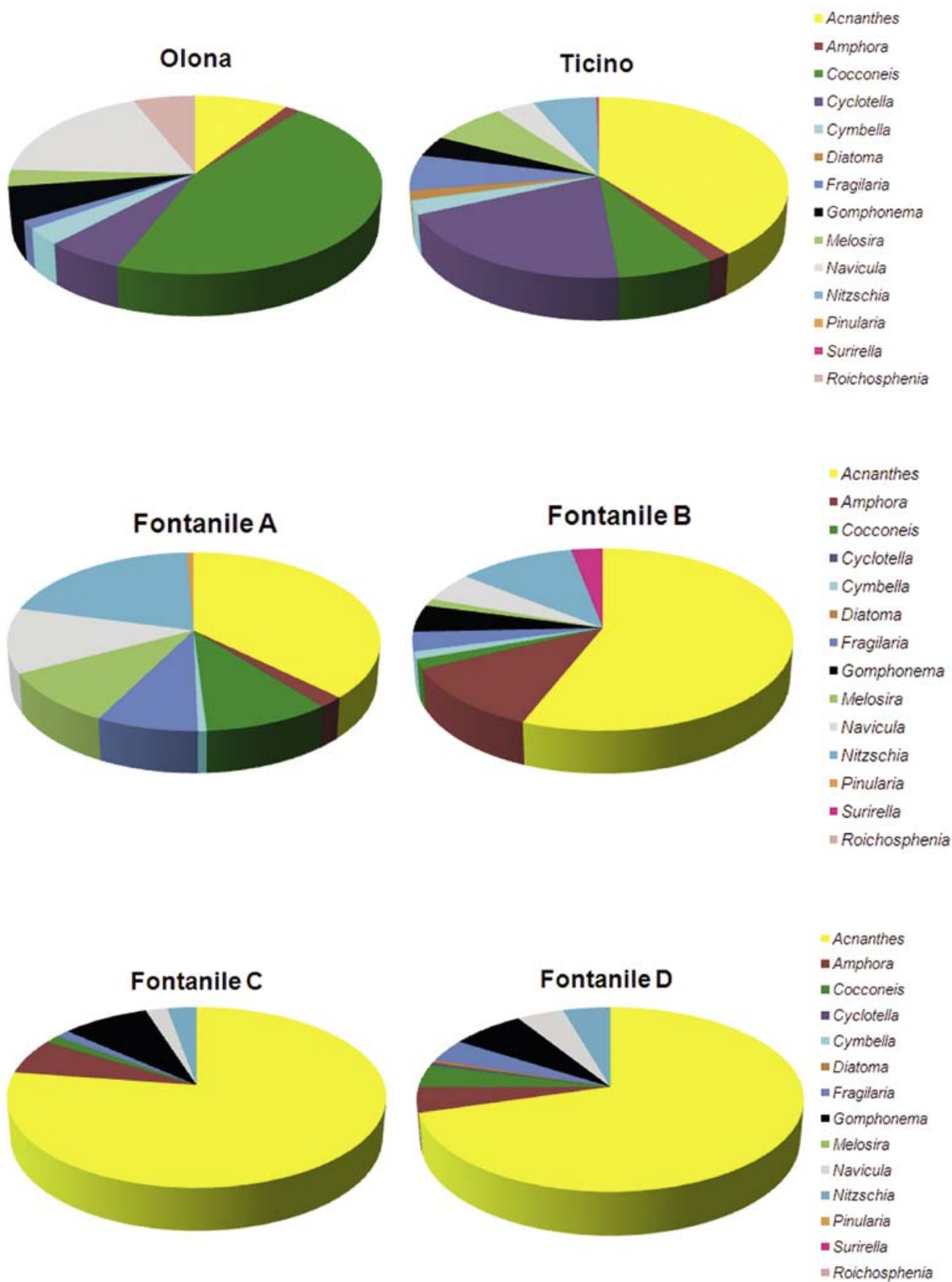
Figura 42. Composizione tassonomica della fauna a macroinvertebrati rilevata in un fontanile caratterizzato da situazioni di eutrofizzazione (sinistra, fontanile Fontanella, Fontanella, BG) e di un fontanile in fase avanzata di interrimento (destra, fontanile Taverghnasco, Gaggiano, MI) durante un campionamento primaverile. Le percentuali si riferiscono al numero di individui.

6- Assetti diatomici dei fontanili: studio pilota

I risultati della ricerca qui presentata sono il frutto del primo studio sulle comunità diatomiche realizzato sui fontanili della pianura lombarda. Per questa ragione la presente descrizione va interpretata come un'analisi preliminare, in parte pionieristica, ad oggi ancora troppo limitata per poter proporre schemi generali sulla struttura ed il significato ecologico delle comunità di diatomee bentoniche presenti nelle risorgive di pianura.

Tuttavia questi primi risultati mettono in evidenza che, rispetto ad alcuni fiumi della Pianura Padana, i fontanili presentano una biodiversità molto più elevata. Nel lavoro di ricerca sono stati campionati il fiume Olona, il Ticino e 5 fontanili, tre in stadi progressivi di interrimento e due in condizioni ottimali. La differenza più evidente tra fiumi e fontanili è il numero di specie: 24 per l'Olona (Varese), 42 per il Ticino (Golasecca, VA) e ben 152 (in totale) per i 5 fontanili. Un'altra differenza significativa è la struttura delle comunità, intesa come numero di individui per taxon. Il confronto tra i grafici permette di mettere in luce come con il miglioramento della qualità delle acque (partendo dall'Olona, passando dal Ticino ed arrivando ai fontanili) si ha un progressivo decremento di taxa generalisti (*Cocconeis*) ed un progressivo incremento di taxa ecologicamente esigenti come ad esempio quello delle *Achnanthes*.

Differenze nelle strutture delle comunità si possono evidenziare con relativa facilità anche dal confronto tra i fontanili in varie fasi di interrimento (da quello in fase più avanzata: fontanile A, a quello meno interrato: fontanile C) e quelli che presentano condizioni ecologico-funzionali ottimali (fontanile D). Anche qui il dato più eclatante è la composizione in specie (e individui) appartenenti al genere *Achnanthes*, taxon estremamente sensibile alla trofia delle acque e all'impatto antropico in generale. Con molta probabilità il fattore che determina la diminuzione delle *Achnanthes* rispetto agli altri taxa potrebbe essere la presenza di sostanze ridotte disciolte in acqua, come ad esempio l'ammoniaca. Di fatto le analisi chimiche sulle acque dei fontanili mettono in evidenza come vi sia una graduale riduzione di questo elemento dal fontanile A ($301 \mu\text{g/l NH}_4^+$) a quello D ($35 \mu\text{g/l NH}_4^+$). Un'ulteriore nota d'interesse è il ritrovamento di specie particolarmente interessanti riconosciute nei vari indici diatomici europei come "specie guida" per gli ambienti e per le acque inquadrabili in "classe ottima". Tra queste possiamo elencare *Achnanthes minutissima* var. *gracilissima*, *Achnanthes oblonghella*, *Campylodiscus hibernicus*, *Cocconeis neodiminuta*, *Diatoma hyemalis*, *Gomphonema affine*, *Neidium ampliatum*, *Pinnularia divergens*.



Elenco delle specie di diatomee bentoniche riscontrate nei cinque fontanili considerati.

Centrales	Pennales
<i>Cyclotephanos damasii</i> Stoermer & Hakansson	<i>Fragilaria pinnata</i> var. <i>pinnata</i> Ehrenberg
<i>Cyclotella bodanica</i> Grunow	<i>Fragilaria ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot
<i>Cyclotella comensis</i> Grunow	<i>Fragilaria ulna</i> var. <i>biceps</i> (Kützing) Lange-Bertalot
<i>Cyclotella iris</i> Brun & Heribaud	<i>Fragilaria ulna</i> var. <i>ulna</i> (Nitzsch) Lange-Bertalot
<i>Cyclotella krammeri</i> Hakansson	<i>Frustulia vulgaris</i> (Thwaites) De Toni
<i>Cyclotella menegheniana</i> Kützing	<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehrenberg
<i>Ellerbeckia</i> ssp.	<i>Gomphonema affine</i> Kützing
<i>Melosira varians</i> Agardh	<i>Gomphonema augur</i> Ehrenberg
<i>Stephanodiscus</i> ssp.	<i>Gomphonema clavatum</i> Ehrenberg
	<i>Gomphonema gracile</i> Ehrenberg
Pennales	<i>Gomphonema insigne</i> Gregory
<i>Achnanthes biasolettiana</i> var. <i>biasolettiana</i> Grunow	<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing
<i>Achnanthes bremeyri</i> Lange-Bertalot	<i>Gomphonema subclavatum</i> (Grunow) Grunow
<i>Achnanthes conspicua</i> Mayer	<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg
<i>Achnanthes curtissima</i> Carter	<i>Gyrosigma attenuatum</i> (Kützing) Cleve
<i>Achnanthes delicatula</i> (Kützing) Grunow	<i>Navicula absoluta</i> Hustedt
<i>Achnanthes distincta</i> Messikommer	<i>Navicula americana</i> Ehrenberg
<i>Achnanthes exigua</i> var. <i>exigua</i> Grunow	<i>Navicula angusta</i> Grunow
<i>Achnanthes grana</i> Hohn & Hellerman	<i>Navicula bergerensis</i> Hohn
<i>Achnanthes lanceolata</i> ssp. <i>dubia</i> (Grunow) Lange-Bertalot	<i>Navicula capitata</i> Ehrenberg
<i>Achnanthes lanceolata</i> f. <i>rhombica</i> Carter	<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain
<i>Achnanthes lanceolata</i> ssp. <i>frequentissima</i> Lange-Bertalot	<i>Navicula cari</i> Ehrenberg
<i>Achnanthes lanceolata</i> ssp. <i>rostrata</i> (Oestr.) Lange-Bertalot	<i>Navicula concentrica</i> Carter & Bailey-Watts
<i>Achnanthes lanceolata</i> var. <i>haynardi</i> Cleve	<i>Navicula costulata</i> Grunow
<i>Achnanthes lanceolata</i> ssp. <i>lanceolata</i> (Brebisson) Grunow	<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot
<i>Achnanthes minutissima</i> Kützing	<i>Navicula cuspidata</i> (Kützing) Kützing
<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>gracilissima</i> (Meister) Lange-Bertalot	<i>Navicula decussis</i> Østrup
<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>minutissima</i> Kützing	<i>Navicula digitoradiata</i> (Gregory) Ralfs
<i>Achnanthes minutissima</i> var. <i>jackii</i> (Rabenhorst) Lange-Bertalot	<i>Navicula digitoradiata</i> var. <i>rostrata</i> Hustedt
<i>Achnanthes oblonghella</i> Østrup	<i>Navicula elginensis</i> (Gregory) Ralfs
<i>Achnanthes ploenensis</i> var. <i>plonensis</i> Hustedt	<i>Navicula goeppertiana</i> (Bleisch) H.L.Smith
<i>Achnanthes rupestoides</i> Hohn	<i>Navicula halophila</i> (Grunow) Cleve
<i>Achnanthes rupestris</i> Krasske	<i>Navicula helensis</i> Schulz
<i>Achnanthes subatomoides</i> (Hust.) Lange-Bertalot- Arch.	<i>Navicula heimansioides</i> Lange-Bertalot
<i>Achnanthes taeniata</i> Grunow	<i>Navicula margalithii</i> Lange-Bertalot
<i>Amphora aequalis</i> Krammer	<i>Navicula menisculus</i> Schumann
<i>Amphora libyca</i> Ehrenberg	<i>Navicula oblonga</i> (Kützing) Kützing
<i>Amphora montana</i> Krasske	<i>Navicula phyllepta</i> Kützing
<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing	<i>Navicula placentula</i> (Ehrenberg) Kützing
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow q	<i>Navicula preaerita</i> Hustedt
<i>Anomoeoneis vitrea</i> (Grunow) Ross	<i>Navicula pygmaea</i> Kützing
<i>Caloneis sicula</i> (Ehrenberg) Cleve	<i>Navicula recens</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot
<i>Campylodiscus hibernicus</i> Ehrenberg	<i>Navicula schoenfeldii</i> Hustedt
<i>Cocconeis disculus</i> (Schumann) Cleve	<i>Navicula stroemii</i> Hustedt
<i>Cocconeis neodiminuta</i> Krammer	<i>Navicula subrynchocephala</i> Hustedt
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (Ehrenberg) Van Heurck	<i>Navicula tripunctata</i> (O.F. Müller) Bory

<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypha</i> Ehrenberg	<i>Navicula tuscule</i> Ehrenberg oppure <i>pseudotuscula</i> Hustedt
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg	<i>Navicula viridula</i> (Kützing) Ehrenberg
<i>Craticula cuspidata</i> (Kützing) D.G. Mann ex Round et al.	<i>Navicula viridula</i> var. <i>linearis</i> Hustedt
<i>Cymatopleura elliptica</i> (Brébisson ex Kützing) Smith	<i>Navicula vitabunda</i> Hustedt
<i>Cymatopleura solea</i> (Brébisson ex Kützing) Smith	<i>Neidium ampliatus</i> (Ehrenberg) Krammer oppure <i>N. dubium</i>
<i>Cymatopleura solea</i> var. <i>apiculata</i> (W. Smith) Ralfs	<i>Neidium dubium</i> (Ehrenberg) Cleve
<i>Cymbella affinis</i> Kützing	<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W.Smith
<i>Cymbella aspera</i> (Ehrenberg) Cleve	<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow
<i>Cymbella brehmii</i> Hustedt	<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Grunow
<i>Cymbella caespitosa</i> (Kützing) Schütt	<i>Nitzschia dissipata</i> var. <i>media</i> (Hantzsch) Grunow
<i>Cymbella cistula</i> (Ehrenberg) Kirchner	<i>Nitzschia fibula-fissa</i> Lange-Bertalot
<i>Cymbella ehrenbergii</i> Kützing	<i>Nitzschia fonticola</i> (Grunow) Grunow
<i>Cymbella helmckei</i> Krammer	<i>Nitzschia hungarica</i> Grunow
<i>Cymbella naviculiformis</i> Auerswald ex Heiberg	<i>Nitzschia lacuum</i> Lange-Bertalot
<i>Cymbella tumida</i> (Brébisson) van Heurck	<i>Nitzschia liebetruthii</i> Rabenhorst
<i>Denticula tenuis</i> Kützing	<i>Nitzschia linearis</i> (C.Agardh) W.Smith
<i>Diatoma hyemalis</i> (Roth) Heiberg	<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith
<i>Diatoma vulgare</i> Bory de Saint-Vincent	<i>Nitzschia paleacea</i> (Grunow) Grunow
<i>Diploneis elliptica</i> (Kützing) Cleve	<i>Nitzschia pellucida</i> Grunow
<i>Diploneis oblonghella</i> (Nägeli) Cleve-Euler	<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W.Smith
<i>Epitemia turgida</i> var. <i>westermanni</i> (Ehrenberg) Grunow	<i>Nitzschia sublinearis</i> Hustedt
<i>Euonia glacialis</i> Meister	<i>Pinnularia divergens</i> W.Smith
<i>Fragilaria bidens</i> Heiberg	<i>Pinnularia major</i> (Kützing) Rabenhorst
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazier's	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>capucina</i> Desmazier's	<i>Stauroneis phoenicenteron</i> (Nitzsch) Ehrenberg
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>mesolepta</i> (Rabenhorst) Rabenhorst	<i>Stenopterobia anceps</i> (F.W.Lewis) Brébisson ex Van Heurck
<i>Fragilaria construens</i> v f <i>binodis</i> (Ehrenberg) Hustedt	<i>Surirella biseriata</i> Brébisson
<i>Fragilaria construens</i> v f <i>verter</i> (Ehrenberg) Grunow	<i>Surirella elegans</i> Ehrenberg
<i>Fragilaria fasciculata</i> (Agardh) Lange-Bertalot	<i>Surirella angusta</i> Kützing oppure <i>S. lapponica</i> Cleve
<i>Fragilaria parasitica</i> var. <i>subconstricta</i> Grunow	<i>Synedra ulna</i> var. <i>acus</i> (Kützing) Lange-Bertalot
<i>Fragilaria pinnata</i> var. <i>intercedens</i> (Grunow) Hustedt	<i>Synedra gaillonii</i> (Bory de Saint-Vincent) Ehrenberg



Figura 43. Esempio di *Campylodiscus hibernicus*

LINEE GUIDA PER LA GESTIONE

1- Premessa

Lo scopo primario di questo lavoro è stata la conoscenza dei fontanili lombardi, sia in termini di numeri, localizzazione e caratteristiche essenziali, sia con riguardo alle caratteristiche proprie per lo svolgimento delle diverse funzioni loro assegnate. Così è stato compiuto, da un lato, il censimento, mediante rilievo diretto e, dall'altro, sono state fatte indagini e approfondimenti volti a definirne le funzionalità territoriale, irrigua ed ecologica. A conclusione del lavoro si è però ritenuto importante definire alcune essenziali e sintetiche linee guida per la gestione che, senza avere alcuna pretesa esaustiva, vogliono dare un contributo alla definizione delle modalità di intervento, in grado di garantire la conservazione e la valorizzazione di questi elementi che, per consistenza numerica, ancora caratterizzano fortemente la fascia dell'alta pianura lombarda.

Nei paragrafi seguenti sono, così, riportate alcune indicazioni per il mantenimento della funzione irrigua, di quella paesaggistica e di quelle biologica. Al riguardo, come più volte indicato, è ancora una volta importante sottolineare la stretta dipendenza fra lo svolgimento delle tre funzioni: solo il mantenimento della funzione irrigua, con la conseguente presenza di acqua corrente, garantisce lo sviluppo della fauna e della flora tipica di questi ambienti e solo la gestione a scopi irrigui di quest'acqua ne giustifica i costi di mantenimento e pulizia per gli oltre 1200 punti, distribuiti in poco meno di 200 comuni. Se i fontanili non mantengono la loro primaria funzione non potranno che andare incontro a sicuro abbandono con l'eccezione di alcuni "esemplari" eventualmente conservati a scopo di "memoria storica", in una sorta di museo all'aperto del paesaggio agricolo perduto. Due sono gli aspetti che sembra importante sottolineare: da un lato ogni fontanile è strettamente legato all'ambiente che lo circonda, ambiente che determina attraverso l'uso del suolo, le pratiche agricole, ed irrigue in particolare, la capacità del fontanile di alimentarsi e quindi di funzionare e, dall'altro, le possibilità di recupero dei fontanili, anche di quelli da tempo abbandonati, con costi tutto sommato contenuti e tempi per l'ottenimento di risultati nell'ordine di qualche mese per la funzionalità agricola e poco più lunghi per quelle ecologica e paesaggistica.

In questo quadro è importante ricordare il ruolo dei consorzi di bonifica che gestendo più fontanili fra loro prossimi possono effettivamente permettere la creazione di aree di eccellenza.

2- Funzione irrigua

Dal punto di vista idraulico, la gestione dei fontanili è apparentemente piuttosto semplice. Si tratta di garantirne la funzionalità idraulica e quindi di facilitare e mantenere l'affioramento delle acque di falda.

In realtà, dato lo stretto legame che esiste con le pratiche agricole ed in particolare con "l'inefficienza" dei metodi irrigui e dei canali di derivazione, la questione è assai più complessa in quanto è richiesta una gestione del territorio ad una scala ben più ampia. Limitandosi tuttavia alla gestione del singolo fontanile, le attività da intraprendere riguardano essenzialmente lo spurgo e la stabilizzazione delle sponde.

Spurgo

Per quanto riguarda il fontanile in senso stretto la gestione idraulica può limitarsi alla pulizia degli occhi e delle tubazioni o talvolta alla rimozione del materiale più fine che va a depositarsi sul fondo della testa ed al consolidamento delle sponde; quest'ultimo è di una certa importanza non solo per evitare la riduzione della superficie d'affioramento idrico, ma anche per evitare il deposito di particelle fini che, intasando lo strato grossolano che generalmente costituisce i fontanili, ne limita la capacità drenante.

Lo spurgo delle tubazioni viene solitamente effettuato immettendo aria compressa all'interno del-

le tubazioni, mentre nel caso degli occhi occorrerebbe procedere prevalentemente con operazioni manuali. In entrambi i casi, grazie alla meccanizzazione delle operazioni, è oggi più conveniente procedere con l'infissione di nuovi manufatti. La rilevanza delle operazioni di spurgo è stata rilevata da Gomarasca (2002) dove la portata è passata da circa 35 l/s (1 luglio 1999) a 260 l/s (25 settembre 1999); nonostante, come si è visto precedentemente, sia normale un aumento di portata nel corso della stagione, l'incremento osservato è sicuramente importante.

Nei fontanili di emersione può essere opportuno provvedere all'asportazione del materiale più fine che in alcuni casi si accumula sul fondo, o addirittura contenere la vegetazione acquatica (in particolare *Typha* e *Phragmites*) che porterebbe in breve tempo all'interrimento.

Nei casi in cui l'affioramento delle acque sia diffuso anziché concentrato in tubi e tini, può essere utile operare una "rottura" dello strato superficiale.

Chiaramente tutte queste operazioni vanno a pregiudicare, in maniera più o meno rilevante e per un periodo più o meno lungo, la funzionalità ecologica (si veda il paragrafo successivo).

Consolidamento delle sponde

Una delle cause della riduzione dell'affioramento dell'acqua e la riduzione della portata dei fontanili è l'intasamento della superficiale con materiale fine. Una parte di questo può provenire dal sottosuolo portato dai filetti liquidi che affiorano e dovuto ad una loro maggior velocità rispetto ai restanti filetti della falda, tale fenomeno è però da ritenersi limitato. Più consistente può invece essere l'intasamento dovuto al materiale proveniente dalle sponde che cedono, soprattutto se vi è filtrazione da parte di quest'ultime; materiale che può ulteriormente consolidarsi con l'insediamento della vegetazione acquatica.

Per evitare il cedimento, di conseguenza occorre effettuare una manutenzione periodica che provveda a stabilizzare prontamente i piccoli dissesti prima che possano espandersi ed a regolare l'eventuale drenaggio superficiale evitando l'approfondirsi di solchi.

In passato, quando la sensibilità ambientale era meno spiccata, la stabilizzazione delle sponde dei fontanili era spesso effettuata utilizzando materiale di scarto (onduline, tavole di legno, persino bidoni zavorrati); attualmente, invece, è possibile fare riferimento alle tecniche di ingegneria naturalistica che abbinano l'impiego di materiale vivo con materiale inerte, in questo caso preferibilmente legnoso.

Per una rassegna delle tecniche che possono essere adottate si rinvia al "Quaderno opere tipo di ingegneria naturalistica" della Regione Lombardia (DGR 6/48740 del 29 febbraio 2000) ed ai numerosissimi manuali facilmente reperibili.

Nel caso dei fontanili, si ritiene preferibile orientarsi su lavori minuti che possano fungere da sostegno ed eventualmente da supporto alla vegetazione, lasciando le opere di sostegno a gravità ai soli casi di effettiva necessità. Possono inoltre essere utilizzati drenaggi sottosuperficiali e piccole opere di stabilizzazione dei fossi di scolo superficiale.

In ogni caso occorre evitare di utilizzare le solite specie correntemente associate all'uso delle tecniche di ingegneria naturalistica (e segnatamente i salici fuori areale), e fare tutti gli sforzi possibili per favorire la componente vegetazionale tipica dei fontanili (nel caso di vegetazione arborea, farnia, pioppi, olmo, ecc.).

Tra le opere che meglio si adattano a raggiungere la stabilizzazione delle sponde dei fontanili si citano le palizzate e le fascine per l'eventuale consolidamento di fossi; in caso di effettiva necessità si può anche fare riferimento alla palificata. Sarebbero invece da evitare viminate e gradonate che si basano sulla realizzazione di linee di piante in successione, che sono invece estranee alla tradizione dei fontanili e che difficilmente lasciano spazio ad una composizione vegetazionale più articolata. Una particolare attenzione deve anche essere prestata alle condizioni di ombreggiamento che spesso caratterizzano le sponde dei fontanili.

Manutenzione dell'asta

Sebbene meno rilevante rispetto alle due operazioni precedenti, anche la manutenzione dell'asta riveste una certa importanza per mantenere la funzionalità irrigua dei fontanili. In particolare si tratta

di evitare che la vegetazione possa rallentare il deflusso provocando un rigurgito verso la testa del fontanile, riducendone l'emungimento e di evitare il cedimento delle sponde con analogo risultato. Per quanto riguarda il controllo della vegetazione occorre evitare di intervenire indiscriminatamente e senza che ve ne sia l'effettiva necessità, come spesso avviene sulle sponde dei canali, eventualmente anche ricorrendo a pratiche manuali. Diversamente da quanto avviene comunemente per le sponde dei canali agricoli, ciò è giustificato dall'elevato valore naturalistico ed effettivamente praticabile grazie alle modeste superfici su cui occorre operare. Per evitare cedimenti di sponda o per porvi rapido rimedio si può intervenire con le medesime tecniche proposte per la stabilizzazione delle sponde della testa.

3- Mantenimento della funzione ecologica

L'ecologia del fontanile è governata da due fattori principali: la microtermia estiva, che determina il contenimento della temperatura su bassi valori soprattutto durante i periodi più caldi dell'anno (intorno ai 15 °C), e l'oligotrofia delle acque, che permette la colonizzazione da parte di specie tipicamente assenti nei corpi idrici planiziali, che sono di norma mesotrofici o eutrofici. Queste due condizioni sono indispensabili per la conservazione dei tipici assetti della vegetazione e della micro e macrofauna dei fontanili. Pertanto, una corretta gestione di questi biotopi deve essere diretta al mantenimento di tali condizioni.

A questo scopo è di fondamentale importanza garantire un adeguato e veloce ricambio delle acque, favorendo l'afflusso idrico dal sottosuolo. In altre parole, è necessario che sia garantita la presenza di un flusso idrico elevato e costante nella testa e nell'asta per favorire i processi di autodepurazione tipici degli ambienti lotici. E' fondamentale che il bacino della testa non presenti accumuli di substrati fini sul fondo che possano ostacolare la naturale emersione delle acque. Inoltre, è importante che, qualora i fontanili presentino tini o tubi in metallo, si proceda ad un periodico ed accurato spurgo degli stessi. Alcune esperienze intercorse negli anni passati hanno dimostrato che la pulizia del fondo eseguita con l'ausilio dei "ragni" tende a ridurre temporaneamente al minimo la biodiversità del biotopo, dato che questo tipo di intervento tende ad azzerare

la presenza dei microhabitat caratteristici del fontanile omogeneizzando il substrato e rimuovendo risorse trofiche utili alla fauna e alla flora. Contrariamente a quanto avveniva fino a una cinquantina di anni or sono, quando la vegetazione veniva sfalciata a mano ed il fango veniva asportato con piccoli strumenti, con le tecniche attuali insieme ai materiali fini vengono asportati massivamente anche i possibili "propaguli" di ricolonizzazione, costituiti da pezzi di rizoma, di piante e piccoli organismi in grado di ripopolare in breve tempo il fontanile. Questa operazione di "drastica" pulizia impedisce perciò la ricolonizzazione del fontanile in tempi accettabili, permettendo così ad altre specie più competitive (che spesso hanno poco a che fare con questo biotopo) di conquistare spazi nelle teste e nelle aste. Tutto ciò comporta il rischio di possibili cambiamenti duraturi delle comunità. Una soluzione ipotizzabile potrebbe essere quella di lasciare nella testa e nell'asta piccole isole vegetate, dalle quali piante ed animali possano, dopo gli interventi di pulizia, ricolonizzare in modo naturale gli spazi ripuliti nel corso delle operazioni di spurgo.



Un altro elemento molto importante per il mantenimento ecologico del fontanile sono le fasce tampone. Queste strutture ecologiche, che possono essere costituite da siepi più o meno larghe, piccoli boschetti che cingono le teste, zone a prato stabile tra il fontanile ed i campi coltivati a cereali, permettono di abbattere le concentrazioni di nutrienti e di fitofarmaci provenienti dalle zone limitrofe, migliorando i livelli qualitativi delle acque che dalla falda più superficiale confluiscono nel fontanile.

In questi ultimi anni è stata introdotta nelle aree a risaia una pratica molto dannosa che minaccia il mantenimento degli equilibri ecosistemici del fontanile: molti colatori derivati dalle risaie sono stati infatti collegati alle teste dei fontanili limitrofi dove convogliano così le acque reflue ricche di nutrienti, diserbanti e materiali fini, che sono in grado di alterare pesantemente gli equilibri ecologici dei fontanili e nel contempo impermeabilizzano il fondo delle teste.

Un ulteriore punto critico è la scomparsa della fauna ittica tipica di questi biotopi. Le specie caratteristiche dei fontanili sono generalmente di piccole dimensioni, molto sensibili all'inquinamento e alle variazioni di temperatura delle acque. In questi ultimi decenni, pesci quali la sangunerola (*Phoxinus phoxinus* L.), il ghiozzetto punteggiato (*Knipowtschia punctatissima* Canestrini), l'alborella (*Alburnus alburnus alborella* De Filippi), lo spinarello (*Gasterosteus aculeatus* L.) e la lampreda di fiume (*Lampetra planeri zanandreae* Bloch) sono andati scomparendo, lasciando il passo a specie alloctone molto competitive di recente introduzione, come il carasso (*Carassius carassius* L.), il gardon (*Rutilus rutilus* L.) e la pseudorasbora (*Pseudorasbora parva* Temminck e Shlegels). Per porre rimedio a questa progressiva estinzione di specie ittiche strategiche dal punto di vista ecologico e della biodiversità sarebbe auspicabile avviare progetti pilota per il loro allevamento in apposite strutture e la successiva reintroduzione nella rete dei fontanili lombardi.

4- Funzione paesaggistica-ricreativa

Dal punto di vista paesaggistico la gestione dei fontanili deve essere affrontata sia a scala territoriale che a livello di singolo elemento; si potrebbe dire a scala progettuale se la gestione corretta del fontanile fosse definita mediante un percorso progettuale.

Con riferimento al primo punto è essenziale ricordare che il fontanile rappresenta un elemento di discontinuità all'interno del territorio agricolo lombardo sempre più caratterizzato da appezzamenti di ampie dimensioni e carenza di elementi verticali connotativi che ne spezzano la monotonia.

Così l'area boscata, più o meno ampia, che ancora circonda oltre il 90% dei fontanili presenti, sia attorno alla testa che lungo l'asta, diviene un elemento fortemente riconoscibile in grado di segnalare la presenza del fontanile anche da ampia distanza. Conservare i fontanili significa quindi conservare la qualità del paesaggio agricolo. D'altro canto i fontanili sono concentrati nella fascia dell'alta pianura lombarda, fascia che, almeno a ridosso delle principali città (Milano, Bergamo e Brescia in particolare), presenta una sovrapposizione di diversi usi del suolo, in parte agricoli ed in parte urbanizzati, che generano un paesaggio spesso disordinato e poco piacevole. In questo contesto la tutela del paesaggio dei fontanili non può che avvenire attraverso la costituzione di una fascia di rispetto, prevista dalle misure dal Piano Territoriale Regionale e quantificata in 10 m dall'intorno della testa e 200 m lungo l'asta in modo da tutelare l'immediato intorno di questi elementi puntuali. Non tutti i fontanili potranno essere utilmente protetti e vincolati; indipendentemente dallo stato di conservazione del fontanile, che può anche essere pessimo, molto



dipende dal grado di compromissione del paesaggio circostante e dalla conservazione o meno della funzionalità irrigua. Poco senso ha mantenere un fontanile dovendolo alimentare con acqua superficiale o pompe elettriche, come fosse un laghetto artificiale. Per questo l'attuazione del vincolo demandata ai comuni in fase di redazione dei Piani di Governo del territorio, consente di valutare al meglio ogni elemento e definire di conseguenza l'inserimento di questa forma di vincolo

A livello puntuale di intervento sul singolo fontanile occorre evitare, come indicato sopra, di far diventare i fontanili un elemento da progettare. Ciò comporterebbe non solo tempi e costi di realizzazione degli interventi neces-

sariamente dilatati ma rischierebbe anche di snaturarne le caratteristiche: le pratiche indicate nei paragrafi precedenti per il mantenimento della funzione irrigua e la conservazione del valore biologico sono quelle in grado di garantirne anche il valore paesaggistico. Il mantenimento della vegetazione lungo le sponde



ed il loro eventuale consolidamento, la pulizia del sottobosco, la pulizia dell'alveo con la conseguente presenza dell'acqua corrente sono tutti interventi che garantiscono la qualità del paesaggio dei fontanili. Il solo accesso alla vista dell'acqua trasparente ed al rumore generato dal suo movimento sono in grado di attrarre l'attenzione del visitatore, generare il senso di isolamento dall'ambiente circostante e rendere così la visita estremamente piacevole. A ciò si associano anche condizioni microclimatiche più favorevoli in prossimità del fontanile rispetto a quelle del territorio circostante, condizioni determinate proprio dalla presenza dell'acqua e della vegetazione.

Interventi specifici possono invece essere necessari laddove sia necessario mascherare la vista di visuali poco piacevoli, determinate per esempio da insediamenti produttivi e infrastrutture viarie.

Laddove è previsto un accesso pubblico al fontanile e quindi dal punto di vista ricreativo, il fontanile può essere paragonato ad un parco pubblico; a livello territoriale il fontanile deve quindi essere considerato un elemento della rete verde e quindi connesso con gli altri elementi della rete; dal punto di vista progettuale occorre invece garantire l'accesso, possibilmente attraverso un sistema di viabilità non motorizzata protetta, e strutture minime di sosta: panchine e cestini per la raccolta rifiuti. Essendo un ambiente

caratterizzato da elevata naturalità le strutture inserite devono naturalmente integrarsi al meglio nel contesto ed essere poco impattanti. La scelta del legno non è condizione sufficiente a risolvere il problema: più importate è la scelta di strutture poco massicce e di facile manutenzione e commisurate al numero di visitatori previsto.



5- Il ruolo dei consorzi di bonifica

I fontanili costituiscono parte integrante e notevole del sistema agro-ambientale-irriguo di una larga fascia della pianura irrigua lombarda, e in quanto tali sono stati più volte oggetto di attenzione, diretta o più generale in quanto rientranti nelle politiche ambientali o in quelle relative alle risorse idriche, con normative ed interventi sia a livello comunitario che nazionale e regionale.

Un'attenzione che risale ai primi anni sessanta del secolo scorso. Come primi atti, basti citare, in ambito Europeo, la Carta dell'acqua che il Consiglio d'Europa ha approvato il 16 maggio 1968, le Convenzioni di Ramsar del 1975 e di Berna del 1979 e, più specifico e operativo, l'inventario delle aree importanti per gli uccelli (IBA), redatto da un gruppo di lavoro istituito dall'ICBP (International Council for Bird Preservation), in cui si citano, quali aree umide con garzaie in pianura padana, quelle dei fontanili, da preservare e proteggere. In ambito nazionale, si cita la c. d. Legge Galasso del 1985, da cui prendono avvio tra l'altro i Piani Paesistici Regionali.

Infine, in ambito regionale lombardo, hanno costituito un più immediato strumento per la conservazione dei fontanili la legge urbanistica n. 51/1975, in applicazione della quale, in particolare del Titolo V, sono stati sottoposti a tutela alcuni corsi d'acqua e alcuni fontanili, per il loro particolare pregio naturalistico grazie alla presenza di biotopi e a vegetazione naturale di rilevante interesse; la successiva (1980) normativa in materia di salvaguardia delle aree agricole, che hanno portato - anche a seguito del regolamento comunitario 2078/92 - a finanziare una serie di interventi tesi alla riqualificazione dei fontanili, nonché infine le norme che hanno stabilito di inserirne alcuni tra le riserve naturali (LR n.86/1988 e successive modifiche e integrazioni).

La normativa e le iniziative in materia, succedutesi e meglio specificatesi anche negli anni successivi, sono state dettate per lo più da obiettivi ed esigenze di carattere eco-ambientale (vedi da ultimo il Piano Territoriale Regionale della Lombardia recentemente approvato -2010-) prestando, invece, una minor attenzione agli aspetti "produttivi" del fontanile, e cioè all'importanza che, specialmente in alcune aree e per determinati periodi, esso riveste come risorsa per l'irrigazione e quindi per lo sviluppo dell'agricoltura.

Questa attenzione viene invece data loro, pur non trascurandone gli altri aspetti e segnatamente quelli di salvaguardia dell'ambiente e di valorizzazione del paesaggio, dai Consorzi di bonifica, che nella loro più importante funzione (assieme a quella di difesa del territorio), e cioè quella irrigua, assegnano ai fontanili la maggior parte dei quali -come si evince dalla presente ricerca- sono da essi stessi gestiti, un ruolo non certo trascurabile.

Questo ruolo "irriguo", da sempre esercitato e riconosciuto dalle varie normative che si sono susseguite nel corso del secolo scorso a livello statale, è ripreso ed anzi rafforzato dai due strumenti regionali relativi alla bonifica, qui intesa nel suo senso più ampio: la legge regionale sulla bonifica e il Piano generale di bonifica, di irrigazione e di tutela delle aree rurali da essa previsto all'articolo 12. La LR n 7 del 16 giugno 2003 "Norme in materia di bonifica e di irrigazione", di lunga gestazione ma comunque emanata contemporaneamente al Piano sotto indicato, titola un apposito articolo (articolo n. 14) "Progetto fontanili", articolo nel quale la Giunta regionale si impegna "al fine della salvaguardia del sistema dei fontanili e dei colatori, in quanto componente essenziale dell'ambiente e del paesaggio, nonché fattore indispensabile per il risparmio idrico (a predisporre) un apposito progetto fontanili finalizzato alla loro conservazione e valorizzazione". I contenuti della LR 7/2003 sono ripresi dalla LR 31/2008 e con essa il progetto fontanili riportato all'articolo 89.

Il Piano, approvato con DCR n. VII/1179 del 16 febbraio 2005, pone, infatti, le acque sotterranee di fontanile tra le fonti irrigue principali (le altre essendo le acque superficiali, di gran lunga più importanti in termini di quantità, e quelle estratte mediante pozzi). In particolare viene sottolineato come "attraverso semplici opere idrauliche (i fontanili), è stato portato alla luce un numero elevatissimo di risorgive utilizzate da tempo immemorabile a fini irrigui". Di conseguenza ai Consorzi viene affidato anche l'obiettivo di cura dei fontanili medesimi, ampliandone la funzione, in sintonia con gli obiettivi più generali del piano stesso, insieme alla loro razionale utilizzazione a fini irrigui, anche alla loro salvaguardia a fini ambientali e paesaggistici.

La norma e il Piano generale di bonifica trovano riscontro operativo nel Piano di Sviluppo Rurale,

che ha provveduto al finanziamento di alcuni Consorzi per la realizzazione di specifici interventi, dando così continuità agli interventi che i Consorzi hanno attuato fin dalla loro costituzione con la LR n. 59/84 per mantenere l'efficienza irrigua dei fontanili, al contempo abbinandoli, in corso d'opera, a quelli finalizzati a funzioni eco-ambientali e ricreativi (cfr. ad es. le opere realizzate a tal fine -rinaturalizzazione, costruzione di panchine, tavoli e strutture, percorsi ciclabili ecc.- dall'Associazione Irrigazione Est Sesia, dai Consorzi di bonifica Est Ticino Villoresi, Medio Chiese, Naviglio Vacchelli ed altri).

La realizzazione di questi obiettivi richiede un dialogo continuo tra i Consorzi, i Comuni, le Province e gli altri enti gestori del territorio, in particolare gli enti parco, al fine di individuare una pianificazione comune in grado di valorizzare l'importanza del territorio agricolo; ed in questo senso i Consorzi, impegnati giornalmente nella gestione della risorsa irrigua e nella difesa del territorio, risultano gli enti più qualificati per coordinare l'insieme delle azioni da attuarsi sul territorio rurale così da non isolare i singoli elementi di pregio ambientale.

Da ultimo, si cita l'azione che Regione Lombardia sta attuando - attraverso il riordino dei Consorzi previsto dalla Legge Regionale n. 25 del 28 dicembre 2011 e un progetto di legge attualmente in avanzata elaborazione in materia di difesa del suolo - per un potenziamento del ruolo dei Consorzi medesimi, individuati come coordinatori regionali nel campo, tra gli altri e per quanto qui più specificatamente interessa, dell'irrigazione, della salvaguardia dell'ambiente e della valorizzazione del paesaggio con evidenti, positivi riflessi sull'attenzione che dagli stessi verrà prestata per una conservazione, gestione e valorizzazione dei fontanili.

BIBLIOGRAFIA

- Albergoni, F.G., Marrè, M.T., Tibaldi, E., Volpati, P. (1999) Il fontanile: un modello di ecosistema in evoluzione, Pianura suppl. di Provincia Nuova, 3, 7-22.
- Arnaud E., Loda A. (2009) La comunità delle diatomee bentoniche come indicatore della qualità delle acque del fiume Tormo. Pianura, vol 24, 47-70. Provincia di Cremona ed
- Baratti, C. a cura di (1999). I Fontanili una risorsa idrica e ambientale. Tutela e gestione il Lomellina. Edizioni Guerini e Associati, Milano. 206 p.
- Bertuletti, C. (1992) Note idrogeologiche sulle risorgive lombarde, Rivista del Museo Civico di Scienze Naturali "Enrico Caffi", Bergamo, volume 15.
- Bos, M.G. a cura di (1989) Discharge measurement structures, publ. N. 20, ILRI, Wageningen, Olanda, 3 ed.
- Botequila Leitão, A., Miller, J., Ahern, J., McGarigal, K. (2006) Measuring Landscape a Planner's handbook, Island Press, Washington
- Briggs, M. A., Lautz, L. K. and McKenzie, J. M. (2011), A comparison of fibre-optic distributed temperature sensing to traditional methods of evaluating groundwater inflow to streams. Hydrological Processes. doi: 10.1002/hyp.8200
- Campaoli S., P.F. Ghetti, A. Minelli, S. Ruffo, (1994). Manuale per il riconoscimento dei Macroinvertebrati delle acque dolci italiane. Vol.1 e Vol.2. Provincia autonoma di Trento.
- Clemmens, A.J., Wahl, T.L., Bos, M.G., Replogle J.A. (2001) Water Measurement with Flumes and Weirs, ILRI Publication 58, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 382 p.
- Cotta Ramusino, M., Rossaro, B. (1975) Biologia di un fontanile lombardo - Istituto Lombardo (Rend. Sc.) B 109, 162-168
- Cortini Pedrotti, C. (2001-2006) Flora dei muschi d'Italia. Vol 1 e 2. Antonio Delfino Ed., Roma
- De la Fuente de Val, G., Atauri, A.J., De Lucio, V. J. (2003) Relationship between visual attributes and spatial pattern indices: A test study in Mediterranean climate landscape - Landscape and urban planning 77, 393-407
- Desio A. (1973) Geologia applicata all'ingegneria, Hoepli, Milano, 1193 pp.
- D'Auria, G., Zavagno, F., (2005) I fontanili della Provincia di Cremona. Pianura Monografie n. 6, 309 pp.
- Eloranta, P., Kwandrans, J. & Kusel-Fetzmann, E. (2011) Phaeophyceae und Rhodophyceae Vol.7. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin
- Ettl H. (1978) Xanthophyceae Vol. 3. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H. Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin
- Ettl H. (1983) Chlorophyta I, Phytomonadina Vol. 9. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin
- Ettl H. (1988) Chlorophyta II, Tetrasporales, Chlorococcales, Gloeodendrales. Vol. 10. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin
- Farina, A. (2002) Ecologia del paesaggio. Principi metodi e applicazioni – UTET Università
- Forman, R. T. T., Sperling, D. (2003) Road ecology science and solution – Island Press – Washington
- Forman, R. T. T. (1998) Road ecology and road density in different landscape, with International planning and mitigation solution – National Technical Information Service, USA
- Gandolfi, C., Rienzi, M., Ortuani, B. (2006) Documento d5: rapporto sul modello falda-fontanili, Progetto TwoLe – Sottoprogetto TwoLe-B – Modello Falda-Fontanili, Istituto di Idraulica Agraria, Università degli Studi di Milano, Milano, 111 pp.
- Giacomelli, E., (2003) La bonifica nella fascia dei fontanili in sponda sinistra del fiume Oglio, Collegio Geometri della Provincia di Brescia Consorzio di bonifica Sinistra Oglio, 269 pp.
- Gomasasca S. (2002) Indagine conoscitiva sui fontanili del Parco Agricolo Sud Milano. Provincia di Milano Cogecstre Ed. Penne
- Gomasasca, S., Ferrario, M., Galbiati, D., Ficitola, G. F., Cotta Ramusino, M. (2004) Macrofite acquatiche quali possibili indicatori di qualità ecologica del sistema irriguo minore - Convegno Internazionale: Il sistema rurale. Una sfida per la progettazione tra salvaguardia, sostenibilità e governo delle trasformazioni, Regione Lombardia & Politecnico di Milano, Milano 13-14 Ottobre 2004, Libreria Clup srl, Milano.
- Gomasasca S., Cicatelli A., Luisa Angela Maggioni L. A., Castiglione S. (2012). The use of *Callitriche* for water quality determination can be misleading: an example from the Po valley in northern Italy. Plant Biosystems (in stampa)
- Gulincka, H., Mugica, M., de Lucio, V. J., Atauri A.J. (2001) A frame work for comparative landscape analysis and evaluation based on land cover data, with an application in the Madrid Region, Landscape and urban planning 55, 257-270
- John D. M., Whitton B. A., Brook A. J. (2002) The freshwater Alga Flora of the British Isles, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- Kadlubowska J.Z. (1984) Chlorophyta VIII, Conjugatophyceae I, Zygnematales. Vol. 16. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Komárek J., Anagnostidis K. (1999-2000) Cyanoprokaryota (Chroococcales) Vol. 19/1. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Komárek J., Anagnostidis K. (1999-2000) Cyanoprokaryota (Oscillatoriales) Vol. 19/2. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Konga F., Yinb H., Nakagoshic N., Zongb Y. (2010) Urban green space network development for biodiversity conservation: Identification based on graph theory and gravity model, Landscape and urban planning, 95, 16-27.
- Krause Werner (1997) Charales (Charophyceae) Vol. 18. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Kramer K., Lange-Bertalt H. (1986 - 1997) Bacillariophyceae (Naviculaceae). Vol. 2/1. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer Ed. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Kramer K., Lange-Bertalt H. (1988 - 1997) Bacillariophyceae (Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae). Vol. 2/2. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer Ed. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Kramer K., Lange-Bertalt H. (1991) Bacillariophyceae (Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae). Vol. 2/3. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer Ed. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Kramer K., Lange-Bertalt H. (1991) Bacillariophyceae (Achnanthaceae, Navicula, Gomphonema). Vol. 2/4. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer Ed. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Kramer K., Lange-Bertalt H. (1986 - 1997) Bacillariophyceae (Naviculaceae). Vol. 2/1. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Kramer K., Lange-Bertalt H. (2000) Bacillariophyceae; English and French translation of the keys. Vol. 2/5. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Büdel B., Gärtner G., Krienitz L., Lokhorst G.M. Ed. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Lansdown, R. V. (2008) Water-starworts, *Callitriche* of Europe, BSBI Ed., London
- Marziali, L., Bielli, E., Buffagni A., Rossaro, B. (2004) Relazioni tra variabili ambientali e struttura della comunità: confronto tra metodi multivariati convenzionali e reti neurali - Convegno internazionale: Il sistema rurale. Una sfida per la progettazione tra salvaguardia, sostenibilità e governo delle trasformazioni. Regione Lombardia & Politecnico di Milano, Milano 13-14 Ottobre 2004, Libreria Clup srl, Milano.
- Mezzalana, F. a cura di (2008) Le risorgive a Bressanvido e Sandrigo, Comitato Risorgive di Bressanvido, CIRF Ed. , Quinto di Treviso (TV), 85 pp.
- Minelli, A. a cura di (2002) Quaderni Habitat n. 2. Risorgive e fontanili. Acque sorgenti di pianura nell'Italia settentrionale, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Museo Friulano di Storia Naturale, Udine, 155 pp.
- Mrozińska T. (1985) Chlorophyta VI, Oedogoniophyceae, Oedogoniales. Vol. 14. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Piccinini, A., Patrizi, G. (1985) Rilievo della portata liquida in un campione di fontanili della pianura lombarda tra Adda e Chiese, Regione Lombardia – URBIM Lombardia, 227 pp.
- Piazzoli Perroni, A. (1956) Ricerche Sulla Flora e Vegetazione dei Fontanili Dell'Agro Milanese - Giornale botanico italiano 63, 355-410
- Pignatti, S. (1982) Flora d'Italia, Edagricole Ed., Bologna
- Pisoni, R., Valle, M. a cura di (1992) Catasto dei Fontanili della Lombardia 1988-1992 - Rivista del Museo Civico di Scienze Naturali "E. Caffi" di Bergamo 15, 33-408
- Provincia di Milano (1975) Indagine sulle zone umide in provincia di Milano, Comitato coordinatore per le acque della provincia di Milano, 2- I fontanili
- Replogle J.A., Wahlin, B. (1998) Portable and permanent flumes with adjustable throats Irrigation and Drainage Systems 12: 23-34, 1998.
- Rieth A. (1980) Xanthophyceae Vol. 4. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H. Ed. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin
- Rinaldi, G. (1992) Le cenosi macrofitiche dei fontanili lombardi, con particolare riferimento ai popolamenti a *Berula erecta* Cov. - Rivista del Museo Civico di Scienze Naturali "E. Caffi" di Bergamo 15, 459-480
- Shestani, L., Morisi, A., Battezzore, M. (2007) Comunità macrobentoniche di riferimento nei fontanili del cuneese - Studi Trentini di Scienze Naturali, Acta Biologica 83, 123-128
- Soupir, M.L., Mostaghimi, S., Mitchem, C. (2009). A comparative study of stream-gaging techniques for low-flow measurements in two Virginia tributaries. Journal of the American Water

Starmach K. (1985) Chrysophyceae und Haptophyceae Vol. 1. In Süßwasserflora von Mitteleuropa. Ettl H., Gerloff J., Heynig H., Mollenhauer D. Ed. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg, Berlin
Resources Association 45: 110-122. doi:10.1111/J.1752-1688.2008.00264.X.

Thorne, J. F., Huang C. S. (1991) Toward a landscape ecological aesthetic: methodologies for designers and planner, *Landscape and Urban planning* 21, 61-67.

Toccolini, A. (2007) Piano e progetti di area verde, Maggioli, Rimini.

Uuemaa, E., Antrop, M., Roosaare, J., Marja, R., Mander, U. (2009) Landscape Metrics and Indices: An Overview of Their Use in Landscape Research. *Living Reviews in Landscape Research*, vol 3, 1-28

Stampa a cura di:
VERGA ARTI GRAFICHE srl
Macherio (MB)
www.verga-artigrafiche.it



RegioneLombardia

Agricoltura

Il sito della ricerca in agricoltura
www.agricoltura.regione.lombardia.it