Sintesi

Obiettivo del presente lavoro è stato individuare la portata, antropizzata e naturalizzata, media mensile e annua, in chiusura ai corpi idrici lombardi non artificiali. A tal fine, tutte le elaborazioni effettuate hanno avuto, come unità minima di riferimento, il corpo idrico.
L'utilizzo di un approccio modellistico ha consentito di stimare le **portate di riferimento** (modellizzate o eventualmente misurate, metodo M), prima antropizzate poi naturalizzate, in chiusura ai corpi idrici dei principali affluenti lombardi di Po e dei loro primi tributari.
Tramite la procedura di regionalizzazione ex PTUA 2006, applicata alla componente idrologica delle portate di riferimento, è stato possibile determinare le **portate regionalizzate** (metodo R1 o R2 o R3), prima naturalizzate poi antropizzate, per i restanti corpi idrici.
Tutte le elaborazioni sono state effettuate per il periodo 2001-2015, ad eccezione delle portate antropizzate modellizzate dei bacini prelacuali di Adda e Oglio che fanno riferimento al periodo 2009-2015.
Tale scelta è stata dettata dall'individuazione di un cambio netto nella gestione della risorsa (introduzione obbligo DMV, liberalizzazione del mercato dell'energia, ricorso sempre maggiore ad altre fonti rinnovabili come solare ed eolico), che ha portato a non poter più confrontare i dati con il pregresso.
Nei casi in cui la modellistica non è stata utilizzata (regionalizzazione) o è stata rielaborata, per la portata antropizzata è stato possibile ricostruire solo il valore medio annuo.
La procedura di regionalizzazione potrà essere applicata per la stima della portata in ulteriori punti del reticolo idrografico lombardo.
Segue la legenda della codifica associata a ciascuna metodologia.

Metodo M: portate da modello o eventualmente misurate

L'abbinamento di un modello afflussi-deflussi con uno di bilancio idrico ha consentito di mettere a sistema i deflussi naturali (scorrimento superficiale e sub-superficiale) con i contributi antropici (portate derivate e restituite, portate erogate dai laghi regolati, assorbimento da parte delle colture, …).
L'implementazione di tale catena modellistica ha condotto alla stima della portata, antropizzata e naturalizzata, in chiusura ai principali corpi idrici ed alle stazioni di monitoraggio, utilizzate per la taratura del modello stesso che è stata effettuata a scala mensile sul periodo 2001-2015 (2009-2015 per le antropizzate dei bacini prelacuali).
L'elemento minimo alla scala spaziale è il corpo idrico; la scala temporale, invece, coincide con l'unità minima del modello (dato giornaliero). Ciò significa che prelievi e immissioni sono stati aggregati per corpo idrico, tralasciando quelli che sottraggono e reimmettono portata all'interno del medesimo corpo idrico e quelli non significativi in relazione alla scala temporale del modello (variazioni sub-giornaliere). Fanno eccezione le opere che bypassano le stazioni di monitoraggio, di cui si è tenuto conto in ogni caso, ai fini della taratura.
Nei casi in cui la chiusura di corpo idrico ricada in un punto interessato da più prelievi in un breve tratto, non è stata modellizzata la gestione delle singole derivazioni ma il sistema è stato trattato come un unico nodo idraulico: viene quindi fornita la portata antropizzata in ingresso al nodo stesso.
Per quanto riguarda l'interazione con la falda, sono stati distinti i tratti in cui i corsi d'acqua ricaricano l'acquifero superficiale da quelli in cui, invece, è la falda ad alimentare i corsi d'acqua.
Allo scopo di effettuare le suddette valutazioni, il territorio lombardo è stato suddiviso in più porzioni, coincidenti con il bacino idrografico di uno o più affluenti di Po e per ciascun settore è stato realizzato uno schema idraulico:
https://idro.arpalombardia.it/manual/Stima_Bilancio_Idrico/schemi_idraulici.html.
Successivamente, in fase di implementazione del modello, sono state valutate le interconnessioni tra questi settori al fine di ottenere un modello unico.
Solo in alcuni particolari casi, i dati che fungono da portata di riferimento non provengono da modello ma sono dati misurati.

Metodi R1-R2-R3: procedura di regionalizzazione

Per i corpi idrici non modellizzati si è fatto ricorso alla procedura di regionalizzazione *ex* PTUA 2006, opportunamente adattata ed automatizzata. Tale procedura consente il trasferimento dell'informazione idrometrica disponibile in altre sezioni fluviali sullo stesso corso d'acqua.
Ovvero, a partire da valori di portata prefissati (portate di riferimento naturalizzate), è possibile stimare le portate medie annue in altri punti del reticolo idrografico.
Applicando il metodo di regionalizzazione alla componente idrologica delle portate di riferimento naturalizzate è stato possibile stimare la portata in altri punti del reticolo idrografico come somma algebrica di più contributi nel seguente modo:

- Portata naturalizzata

$$Q_{nat} = Q_{idro} \pm Q_{falda,nat} + Q_{colature,nat}$$

- Portata antropizzata

$$Q_{ant} = Q_{idro} \pm Q_{falda,ant} + Q_{colature,ant} - Q_{der} + Q_{res}$$

Dove:

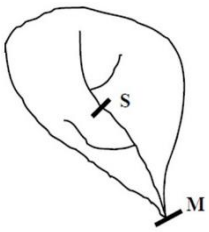
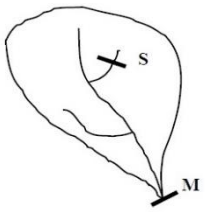
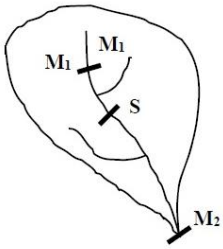
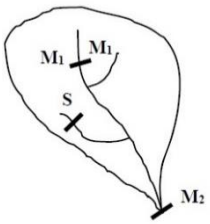
- Q_{idro} = portata idrologica regionalizzata con procedura ex PTUA 2006
- $Q_{falda,nat}$ /$Q_{falda,ant}$ = contributo di falda naturalizzato/antropizzato regionalizzato
- $Q_{colature,nat}$ /$Q_{colature,ant}$ = contributo delle colature naturalizzato/antropizzato regionalizzato
- Q_{der} = somma portate derivate
- Q_{res} = somma restituzioni di origine antropica (es. scarichi centrali idroelettriche, depuratori)

Le portate di riferimento idrologiche per la procedura di regionalizzazione sono state calcolate con la modellistica, eseguendo una simulazione dedicata nella quale sono stati disattivati oltre alle derivazioni e alle restituzioni di origine antropica, anche le ricariche/restituzioni di falda. In questo modo è stato stimato il solo contributo legato all'afflusso meteorico in chiusura di ciascun corpo idrico modellizzato.
Le portate di riferimento per la regionalizzazione dei contributi di falda o delle colature superficiali sono state estratte dalle simulazioni eseguite con il modello, sia in condizioni antropizzate sia in condizioni naturalizzate.
I contributi di portata per i corpi idrici oggetto di regionalizzazione vengono stimati mediante le relazioni riportate nelle tabelle che seguono.
Le portate regionalizzate disponili, sono scaricabili al seguente link:
https://idro.arpalombardia.it/manual/bilancio_idrico.html.

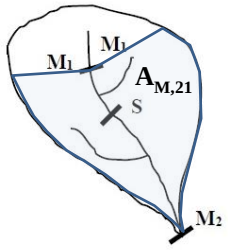
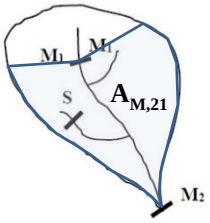
Legenda:

- M = sezioni di chiusura per le quali le portate sono note (stimate da modellistica o elaborate da serie storiche misurate);
- S = sezioni di chiusura non modellizzate, per le quali è necessario effettuare la stima delle portate tramite regionalizzazione;
- Q_{idro} = la portata idrologica (m^3/s);
- Q_{falda} = contributo di portata apportato dalla falda (m^3/s);
- $Q_{colature}$ = il contributo di portata apportato dalle colature (m^3/s);
- A = area totale del bacino sotteso alla sezione considerata o area di interbacino tra le sezioni considerate (km^2);
- P = precipitazione media annua* sul bacino considerato (mm).

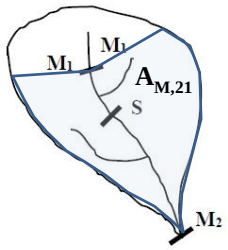
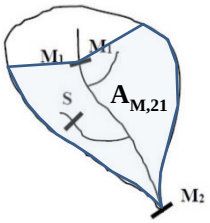
Formule di regionalizzazione per le portate idrologiche

Schematizzazione	Formula di regionalizzazione	Codice
	$Q_{idro,S} = Q_{idro,M} \cdot \frac{A_S}{A_M} \cdot \frac{P_S}{P_M}$	R1
		
	$Q_{idro,S} = Q_{idro,M1} + (Q_{idro,M2} - Q_{idro,M1}) \cdot \frac{P_S \cdot A_S - P_{M1} \cdot A_{M1}}{P_{M2} \cdot A_{M2} - P_{M1} \cdot A_{M1}}$	R2
	$Q_{idro,S} = (Q_{idro,M2} - Q_{idro,M1}) \cdot \frac{P_S \cdot A_S}{P_{M2} \cdot A_{M2} - P_{M1} \cdot A_{M1}}$	R3

Formule di regionalizzazione per i contributi di falda

Schematizzazione	Formula di regionalizzazione
	$Q_{falda,S} = Q_{falda,M,21} \cdot \frac{Q_{idro,S}}{Q_{idro,M,21}} \cdot \frac{A_S}{A_{M,21}}$
	

Formule di regionalizzazione per i contributi delle colature

Schematizzazione	Formula di regionalizzazione
	$Q_{colature,S} = Q_{colature,M,21} \cdot \frac{A_S}{A_{M,21}}$
	

*Nota:
La carta della precipitazione media annua di riferimento si basa sul dataset dell'Archivio Climatologico per l'Italia Settentrionale ArCIS (www.arcis.it), calcolato a partire dai dati dei servizi idrometeorologici dell'Italia Centro-settentrionale e aree limitrofe sul periodo 1961-2015. Sull'archivio è stata eseguita un'estrazione della media annua sul periodo 2001-2015.