



PROVINCIA DI SONDRIO

Relazione Tecnica

Bilancio Idrico della Provincia di Sondrio



I N D I C E

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | I CORSI D’ACQUA DELLA PROVINCIA DI SONDRIO | 1 |
| 1.1 | FIUME ADDA | 3 |
| 1.1.1 | Principali affluenti del Fiume Adda..... | 3 |
| 1.2 | FIUME MERA | 4 |
| 1.2.1 | Principali affluenti del Fiume Mera | 5 |
| 1.3 | FIUME RENO DI LEI | 5 |
| 1.4 | TORRENTE SPÖL..... | 5 |
| 2. | IL QUADRO CONOSCITIVO..... | 6 |
| 2.1 | PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE (PTCP) DELLA PROVINCIA DI SONDRIO ADOTTATO NEL SETTEMBRE 2005 | 6 |
| 2.2 | QUADERNI REGIONALI DI RICERCA N. 33 – DISPONIBILITÀ ED OTTIMIZZAZIONE NELL’USO DELLA RISORSA IDRICA, REGIONE LOMBARDIA | 8 |
| 2.3 | PROGRAMMA DI TUTELA E USO DELLE ACQUE (PTUA) DELLA REGIONE LOMBARDIA | 8 |
| 2.4 | PIANO STRALCIO PER L’ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)..... | 16 |
| 2.5 | PROVINCIA DI SONDRIO (STUDIO MONTANA) - PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE DEI CORSI D’ACQUA: PIANIFICAZIONE DELL’UTILIZZO DELLE RISORSE IDRICHE CON PARTICOLARE RIFERIMENTO AGLI IMPIANTI IDROELETTRICI..... | 18 |
| 2.6 | CRITERI DI CRITICITÀ DEI CORSI D’ACQUA ADOTTATI IN PRECEDENTI STUDI..... | 18 |
| 2.6.1 | Piano Stralcio “Tutela dei corsi d’acqua interessati da derivazioni” – Autorità di Bacino Interregionale del fiume Magra | 19 |
| 2.6.2 | Progetto di Piano di Bacino – Stralcio “Bilancio idrico” del fiume Arno | 20 |
| 2.6.3 | Piano di Tutela e Uso delle Acque della Regione Valle d’Aosta | 20 |
| 3. | LE RISORSE IDRICHE NATURALI DEL TERRITORIO PROVINCIALE | 22 |
| 3.1 | PREMESSA | 22 |
| 3.2 | STIMA DISTRIBUITA DELLE PORTATE MEDIE ANNUE NATURALI NEL RETICOLO IDROGRAFICO | 26 |
| 3.2.1 | Determinazione del reticolo idrografico di riferimento e relativa informatizzazione | 27 |
| 3.2.2 | Applicazione della metodologia del PTUA regionale | 28 |
| 3.3 | STIMA DISTRIBUITA DEI DEFLUSSI SOTTERRANEI E DELLE PORTATE MEDIE ANNUE NATURALI “CORRETTE” | 31 |
| 3.4 | CONFRONTO DELLE PORTATE MEDIE ANNUE NATURALI STIMATE DAL PRESENTE STUDIO CON LE PORTATE RICAVATE DA STUDI PRECEDENTI | 41 |
| 4. | CURVE DI DURATA E PORTATE DI MAGRA..... | 46 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.1 | STIMA DISTRIBUITA DELLE PORTATE NATURALI MEDIE ANNUE DI MAGRA | 50 |
| 4.1.1 | Analisi di sensitività del modello sotterraneo | 53 |
| 5. | UTILIZZAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE | 58 |
| 5.1 | PREMESSA | 58 |
| 5.2 | STATO ATTUALE DELLE UTILIZZAZIONI DELLA RISORSA IDRICA SOTTERRANEA | 58 |
| 5.3 | STATO ATTUALE DELLE UTILIZZAZIONI DELLA RISORSA IDRICA SUPERFICIALE | 67 |
| 5.3.1 | Premessa..... | 67 |
| 5.3.2 | Analisi dei dati sulle derivazioni e sugli scarichi..... | 67 |
| 5.3.3 | Stima delle portate derivate e scaricate..... | 69 |
| 5.3.4 | Stima delle portate medie annue superficiali antropizzate..... | 70 |
| 5.3.5 | Stima delle portate medie annue antropizzate di magra..... | 72 |
| 6. | INDICI DI CRITICITÀ QUANTITATIVA DELLA RISORSA IDRICA SUPERFICIALE | 74 |
| 6.1 | PREMESSA | 74 |
| 6.2 | INDICE RAPPRESENTATIVO DELLE PORTATE DERIVATE PER I DIVERSI USI PER SETTORI DEL TERRITORIO PROVINCIALE | 75 |
| 6.3 | INDICE RAPPRESENTATIVO DEL RISCHIO DI CRITICITÀ INDOTTO DALLE DERIVAZIONI RISPETTO ALLE PORTATE MEDIE ANNUE NATURALI (PORTATE MEDIE ANNUE ANTROPIZZATE) PER OGNI TRATTO DEL RETICOLO IDROGRAFICO | 86 |
| 6.4 | INDICE RAPPRESENTATIVO DELLE LUNGHEZZE E DELLE PORTATE ANTROPIZZATE DEI CORSI D'ACQUA SOTTESI DAGLI IMPIANTI IDROELETTRICI PER SETTORI DEL TERRITORIO PROVINCIALE | 91 |
| 6.5 | INDICE RAPPRESENTATIVO DELLE PORTATE MEDIE ANNUE NATURALI DI MAGRA PER OGNI TRATTO DEL RETICOLO IDROGRAFICO..... | 97 |
| 6.6 | INDICE RAPPRESENTATIVO DEL RISCHIO DI CRITICITÀ INDOTTO DALLE DERIVAZIONI RISPETTO ALLE PORTATE MEDIE ANNUE NATURALI DI MAGRA (PORTATE MEDIE ANNUE DI MAGRA ANTROPIZZATE) PER OGNI TRATTO DEL RETICOLO IDROGRAFICO..... | 104 |
| 6.7 | INDICE RAPPRESENTATIVO DEL RISCHIO DI IRREGOLARITÀ INDOTTO DAI SERBATOI ARTIFICIALI SUL REGIME DEI CORSI D'ACQUA PER OGNI TRATTO DEL RETICOLO IDROGRAFICO..... | 107 |
| 6.7.1 | Premessa..... | 107 |
| 6.7.2 | I serbatoi artificiali esistenti nel territorio provinciale..... | 108 |
| 6.8 | INDICE RAPPRESENTATIVO DEL LIVELLO DI SFRUTTAMENTO IDROELETTRICO IN TERMINI DI ENERGIA PRODOTTA | 112 |
| 7. | LA QUALITÀ DELLE ACQUE E DELL'ECOSISTEMA DEI CORSI D'ACQUA NELLA PROVINCIA DI SONDRIO | 116 |
| 7.1 | PREMESSA | 116 |
| 7.2 | LA QUALITÀ DELLE ACQUE SUPERFICIALI IN PROVINCIA DI SONDRIO..... | 117 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 7.3 | INDICI RAPPRESENTATIVI DEL RISCHIO DI INQUINAMENTO LIM PER OGNI TRATTO DEL RETICOLO IDROGRAFICO | 136 |
| 7.4 | ASPETTI ECOSISTEMICI E DI FUNZIONALITÀ FLUVIALE | 140 |
| 7.4.1 | Aspetti ecosistemici | 140 |
| 7.4.2 | Tutela degli ecosistemi ad alto valore naturalistico | 141 |
| 7.4.3 | Tutela degli ecosistemi fragili | 141 |
| 7.4.4 | Funzionalità fluviale..... | 145 |
| 7.5 | INDICE RAPPRESENTATIVO DELLA CONNETTIVITÀ E DELLA FUNZIONALITÀ ECOLOGICA | 146 |
| 7.5.2 | Proposta per la compilazione di una cartografia di sintesi riguardante gli aspetti ecosistemici | 155 |
| 8. | RISCHIO DI MANCATO RAGGIUNGIMENTO DEGLI OBIETTIVI DI QUALITÀ AMBIENTALE DEI CORSI D’ACQUA..... | 158 |
| 8.1 | PREMESSA | 158 |
| 8.2 | INDICI DI RISCHIO | 159 |
| 8.3 | LINEE DI INDIRIZZO NORMATIVO | 161 |
| 8.4 | CRITICITÀ E INDIRIZZI NORMATIVI PER LA TUTELA DELLE RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE..... | 164 |
| 9. | STUDI E MONITORAGGI FUTURI | 165 |
| 9.1 | STUDI E MONITORAGGI DELLE ACQUE SOTTERRANEE | 165 |
| 9.2 | STUDI E MONITORAGGI DELLE ACQUE SUPERFICIALI | 165 |
| 9.3 | STUDI E MONITORAGGI DELLA QUALITÀ’ DELLE ACQUE E DEGLI ECOSISTEMI ACQUATICI | 167 |
| | BIBLIOGRAFIA | 169 |

Indice delle figure

| | |
|---|----|
| Figura 1. Reticolo idrografico della Provincia di Sondrio (fiumi principali e secondari della Regione Lombardia)..... | 2 |
| Figura 2. Aree tutelate dal PTCP della Provincia di Sondrio adottato nel settembre 2005. | 7 |
| Figura 3. Sintesi delle attività contenute nel PTUA. | 9 |
| Figura 4. Qualità LIM delle aste fluviali oggetto della modellazione (PTUA). | 10 |
| Figura 5. Carta delle criticità delle aste fluviali modellate in condizioni di DMV. La carta mostra la qualità al 2016 con portata pari al 10 % della portata media annua naturale (PTUA)... | 11 |
| Figura 6. Mappa dei tratti in cui la presenza di deflussi inferiori alla portata minima di diluizione (valutata come $Q*10\%$ portata media annua naturale) per periodi superiori ai 3 mesi l'anno potrebbe compromettere il rispetto dell'obiettivo di qualità LIM al 2016. | 11 |
| Figura 7. Classificazione dei corsi d'acqua significativi SECA. | 12 |
| Figura 8. Classificazione dei corsi d'acqua significativi SACA. | 12 |
| Figura 9. Classificazione dei laghi SEL. | 13 |
| Figura 10. Classificazione acque lacustri SAL. | 13 |
| Figura 11. Classificazione qualitativa delle acque sotterranee. | 14 |
| Figura 12. Schematizzazione concettuale del modello idrologico del PTUA. | 15 |
| Figura 13. Classi di criticità definite dal PAI: bassa (colore giallo), media (colore verde), elevata (colore marrone), molto elevata (colore rosso)..... | 17 |
| Figura 14. Metodologia di regionalizzazione del PTUA della Regione Lombardia per la determinazione del contributo specifico medio annuo naturale q_S nelle sezioni di interesse S a partire dal contributo specifico medio annuo naturale q_M noto nelle sezioni monitorate. | 24 |
| Figura 15. Ricostruzioni del PTUA degli andamenti delle portate medie mensili naturali e antropizzate per le sezioni monitorate e di calcolo della Valtellina. | 25 |
| Figura 16. Il reticolo idrografico della bacinnizzazione SIBCA della Regione Lombardia. | 28 |
| Figura 17. Carta della piovosità media annua (mm/anno) della Regione Lombardia (PTUA)..... | 29 |
| Figura 18. Carta delle precipitazioni totali (piovose + nevose) nei sottobacini SIBCA. | 30 |
| Figura 19. Carta delle portate medie annue naturali "non corrette" (in m^3/s) e tabulati automatici dei dati caratteristici per ogni tratto del reticolo SIBCA. | 31 |
| Figura 20. Carta della permeabilità derivata elaborata a partire dalla "Carta della Permeabilità della Provincia di Sondrio" (Carte Geoambientali - Regione Lombardia)..... | 32 |
| Figura 21. Carta dell'infiltrazione specifica media annua riferita alla bacinnizzazione SIBCA ($l/s/km^2$). | 34 |
| Figura 22. Carta delle superfici di infiltrazione alimentanti la falda di fondovalle. | 35 |
| Figura 23. Carta dei buffers di inviluppo delle sorgenti riferiti alla bacinnizzazione SIBCA ($l/s/km^2$). | 37 |
| Figura 24. Carta delle percentuali di correzione dovute all'interscambio con i deflussi sotterranei, riferite alle portate "non corrette" nel reticolo di bacinnizzazione SIBCA ($l/s/km^2$)..... | 39 |
| Figura 25. Portate medie annue naturali "corrette" con il valore dello scambio idrico con il sottosuolo (in m^3/s)..... | 40 |
| Figura 26. Sezioni di confronto delle portate calcolate nel presente studio con le portate stimate dal PAI, dallo Studio Montana e dalla formula Poli98..... | 42 |
| Figura 27. Carta del confronto delle portate "non corrette" stimate dal presente studio e dalla formula Poli98..... | 44 |
| Figura 28. Carta del confronto delle portate "corrette" stimate dal presente studio e dalla formula Poli98. | 45 |
| Figura 29. Curve di durata medie osservate e stimate dell'Adda a Tirano (Quaderni Regionali di Ricerca n. 33). | 47 |
| Figura 30. Curve di durata medie osservate e stimate dell'Adda a Fuentes (Quaderni Regionali di Ricerca n. 33). | 47 |
| Figura 31. Curve di durata medie osservate e stimate del Livrio a Crocetta (Quaderni Regionali di Ricerca n. 33). | 48 |
| Figura 32. Curve di durata medie osservate e stimate del Mallero a Curlo (Quaderni Regionali di Ricerca n. 33). | 48 |
| Figura 33. Curve di durata medie osservate e stimate del Roasco di Eita al S. Valgrosina (Quaderni Regionali di Ricerca n. 33)..... | 49 |

| | |
|---|-----|
| Figura 34. Curve di durata medie osservate e stimate del Venina a S. Venina (Quaderni Regionali di Ricerca n. 33). | 49 |
| Figura 35. Involuppo delle curve di durata della Valtellina (PAI). | 50 |
| Figura 36. Carta del deflusso di base in m ³ /s (assunto come indicatore delle portate medie annue naturali di magra). | 52 |
| Figura 37. Carte della variazione percentuale della portata di base nei casi studiati nell'analisi di sensitività..... | 54 |
| Figura 38. Carta delle derivazioni sotterranee. | 59 |
| Figura 39. Portate di concessione e modalità di derivazione (pozzo, sorgente). | 60 |
| Figura 40. Rapporto tra derivazione da pozzo e da sorgente in ciascun bacino omogeneo. | 61 |
| Figura 41. Ripartizione percentuale nei cinque bacini omogenei del territorio provinciale dei diversi usi alimentati da sorgente. | 62 |
| Figura 42. Ripartizione percentuale nei cinque bacini omogenei del territorio provinciale dei diversi usi alimentati da pozzo. | 63 |
| Figura 43. Carta delle derivazioni superficiali (Catasto Utenze Idriche)..... | 67 |
| Figura 44. Carta di sintesi degli impianti idroelettrici esistenti o concessi al 2008 (aggiornamento al 2008 del catasto Studio Montana della Provincia di Sondrio). | 68 |
| Figura 45. Carta degli scarichi di acque reflue urbane depurate (Provincia di Sondrio). | 69 |
| Figura 46. Carta delle portate medie annue antropizzate e loro classificazione in base al rapporto tra portate antropizzate e portate naturali. | 72 |
| Figura 47. Carta delle portate medie annue antropizzate di magra e loro classificazione in rapporto alle portate medie annue naturali. | 73 |
| Figura 48. Suddivisione del territorio provinciale in settori. | 78 |
| Figura 49. Carta dell'indice rappresentativo delle portate derivate I_{der} per i diversi usi per settori del territorio provinciale. | 85 |
| Figura 50. Carta dell'indice $I_{media, antr}$ della portata media annua antropizzata rappresentativo, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio indotto dalle derivazioni rispetto alla portata media annua naturale. | 88 |
| Figura 51. Carta dell'indice $I_{media, antr}$ della portata media annua antropizzata rappresentativo, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio indotto dalle derivazioni rispetto alla portata media annua naturale, con l'esclusione dei piccoli bacini di superficie < 5 km ² (indicati con colore grigio). Questa figura è riprodotta anche nella Tav. 1 del Piano di Bilancio Idrico della Provincia di Sondrio. | 90 |
| Figura 52. Indice I_L rappresentativo delle lunghezze dei corsi d'acqua non sottesi dagli impianti idroelettrici per settori del territorio provinciale. Questa figura è riprodotta anche nella Tav. 6 del Piano di Bilancio Idrico della Provincia di Sondrio. | 94 |
| Figura 53. Analisi del valore di soglia da attribuire all'indice I_L | 97 |
| Figura 54. Carta dell'indice $I_{magra, nat}$ rappresentativo delle portate medie annue naturali di magra per ogni tratto del reticolo idrografico..... | 99 |
| Figura 55. Curva tipo di durata di corsi d'acqua aventi un marcato regime torrentizio con portate di magra naturale inferiori al 10% della portata media annua (corsi d'acqua in colore rosso e arancione della carta di fig. 21). | 101 |
| Figura 56. Curva tipo di durata di corsi d'acqua aventi un regime meno torrentizio con portate di magra naturale maggiori del 10% della portata media annua (corsi d'acqua in colore giallo e verde della carta di fig. 21). | 101 |
| Figura 57. Carta dell'indice $I_{magra, nat}$ rappresentativo delle portate medie annue naturali di magra per ogni tratto del reticolo idrografico, ad esclusione dei piccoli bacini di superficie < 5 km ² (indicati con colore grigio). | 103 |
| Figura 58. Carta dell'indice $I_{magra, antr}$ della portata media annua antropizzata di magra rappresentativo, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio indotto dalle derivazioni rispetto alla portata media annua naturale di magra. | 105 |
| Figura 59. Carta dell'indice $I_{magra, antr}$ della portata media annua antropizzata di magra rappresentativo, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio indotto dalle derivazioni rispetto alla portata media annua naturale di magra, ad esclusione dei piccoli bacini di superficie < 5 km ² (indicati con colore grigio). Questa figura è riprodotta anche nella Tav. 2 del Piano di Bilancio Idrico della Provincia di Sondrio. | 106 |
| Figura 60. Schema elementare di un serbatoio idroelettrico che induce nella sezione di restituzione una modificazione nel regime naturale di portata..... | 109 |

| | |
|--|-----|
| Figura 61. Carta dell'indice rappresentativo, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio di irregolarità indotto dai serbatoi artificiali sul regime dei corsi d'acqua I_{serb} . Questa figura è riprodotta anche nella Tav. 3 del Piano di Bilancio Idrico. | 111 |
| Figura 62. Curva idrodinamica della Val Masino..... | 113 |
| Figura 63. Curva idrodinamica della Valmalenco..... | 114 |
| Figura 64. Effetti che possono verificarsi sulle comunità fluviali a causa della riduzione della portata..... | 116 |
| Figura 65. Rete di monitoraggio ARPA. | 119 |
| Figura 66. Classi di qualità LIM e IBE nelle diverse stazioni ARPA della Provincia di Sondrio, anno 2005. | 122 |
| Figura 67. Classi di qualità LIM e IBE nelle diverse stazioni ARPA della Provincia di Sondrio, anno 2006. | 123 |
| Figura 68. Localizzazione impianti di depurazione..... | 125 |
| Figura 69. Carichi inquinanti (in Kg/giorno) dei principali descrittori chimici gravanti su ciascun sottobacino..... | 128 |
| Figura 70. Concentrazioni di BOD ₅ alle sezioni ARPA considerate negli scenari “portata media annua naturale” (blu), “portata media annua antropizzata” (viola), “portata media annua antropizzata di magra” (bianco) e determinate dall'ARPA (2006)..... | 132 |
| Figura 71. Concentrazioni di COD alle sezioni ARPA considerate negli scenari “portata media annua naturale” (blu), “portata media annua antropizzata” (viola), “portata media annua antropizzata di magra” (bianco) e determinate dall'ARPA (2006)..... | 133 |
| Figura 72. Concentrazioni di N-NH ₄ alle sezioni ARPA considerate negli scenari “portata media annua naturale” (blu), “portata media annua antropizzata” (viola), “portata media annua antropizzata di magra” (bianco) e determinate dall'ARPA (2006)..... | 133 |
| Figura 73. Concentrazioni di N-NO ₃ alle sezioni ARPA considerate negli scenari “portata media annua naturale” (blu), “portata media annua antropizzata” (viola), “portata media annua antropizzata di magra” (bianco) e determinate dall'ARPA (2006)..... | 134 |
| Figura 74. Concentrazioni di P-tot alle sezioni ARPA considerate negli scenari “portata media annua naturale” (blu), “portata media annua antropizzata” (viola), “portata media annua antropizzata di magra” (bianco) e determinate dall'ARPA (2006)..... | 134 |
| Figura 75. Concentrazioni di E. coli alle sezioni ARPA considerate negli scenari “portata media annua naturale” (blu), “portata media annua antropizzata” (viola), “portata media annua antropizzata di magra” (bianco) e determinate dall'ARPA (2006)..... | 135 |
| Figura 76. Carta dell'indice I_{LIM} rappresentativo per ogni tratto del reticolo idrografico del livello di qualità LIM nello scenario “portate medie annue naturali”..... | 137 |
| Figura 77. Carta dell'indice I_{LIM} rappresentativo, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio di inquinamento LIM nello scenario “portate medie annue antropizzate”. | 138 |
| Figura 78. Carta dell'indice I_{LIM} rappresentativo, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio di inquinamento LIM nello scenario “portate medie annue antropizzate di magra”. Questa figura è riprodotta anche nella Tav. 4 del Piano di Bilancio Idrico della Provincia di Sondrio. | 139 |
| Figura 79. Le comunità di macroinvertebrati, stenoterme fredde, più propriamente caratteristiche degli ambienti kryal (a sinistra), sono costituite da Ditteri Chironomidi delle sottofamiglie Diamesinae e Orthocladinae, e da Ditteri Simulidi (modificato da Brittain & Milner, 2006)..... | 143 |
| Figura 80. Carta dell'indice rappresentativo della connettività e della funzionalità ecologica degli ambienti fluviali. Questa figura è riprodotta anche nella Tav. 5 del Piano di Bilancio Idrico della Provincia di Sondrio..... | 148 |
| Figura 81. Carta dell'indice di rischio I_{rischio} , per ogni tratto del reticolo idrografico, con l'esclusione dei piccoli bacini di superficie < 5 km ² (indicati con colore grigio).Questa figura è riprodotta anche nella Tav. 6 del Piano di Bilancio della Provincia di Sondrio.163 | |



PROVINCIA DI SONDRIO

PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE

PIANO DI BILANCIO IDRICO

1. I CORSI D'ACQUA DELLA PROVINCIA DI SONDRIO

La Provincia di Sondrio (v. Figura 1) è una terra ricca di corsi d'acqua, grazie alla posizione geografica strettamente alpina e delle caratteristiche morfologiche, dominate dalle incisioni vallive della Valtellina e della Val Chiavenna, che si estendono all'interno del territorio amministrativo. La stragrande maggioranza del territorio è compresa nel bacino idrografico del fiume Adda Sopralacuale, mentre in due piccole porzioni della Provincia le acque sono addotte verso i bacini del Reno (zona del Lago di Lei) e del Danubio (torrente Spöl).

In Provincia di Sondrio sono rappresentate tutte le varie tipologie di torrenti e fiumi alpini, dai corsi d'acqua a regime più strettamente torrentizio, ai corpi idrici con nascita da sorgente e fontanile, fino ai torrenti di origine glaciale, essendo presenti nell'area alcuni dei più importanti ghiacciai residui, quali il Bernina e il Ghiacciaio dei Forni. E' evidente, quindi, come gli ambienti fluviali della Provincia di Sondrio siano, oltre che abbondanti, estremamente diversificati a livello morfologico ed ecologico. Viene di seguito riportato una breve descrizione dei principali corsi d'acqua del territorio Provinciale.

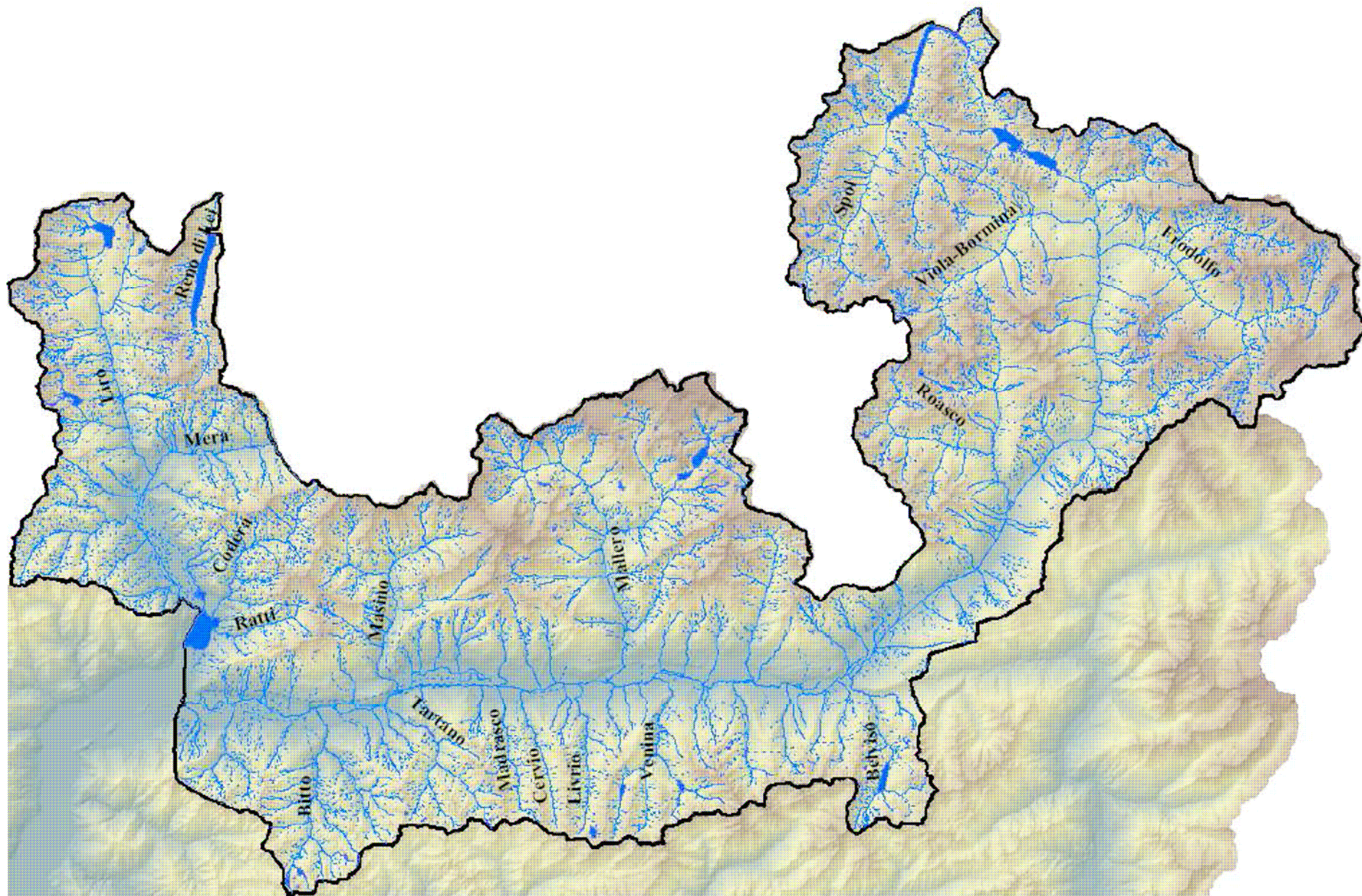


Figura 1. Reticolo idrografico della Provincia di Sondrio (fiumi principali e secondari della Regione Lombardia).

1.1 FIUME ADDA

I 313 km del corso del fiume Adda, il principale corpo idrico della Provincia di Sondrio, sono interamente compresi nel territorio della Regione Lombardia. L'Adda si configura come il più lungo affluente e come il secondo adduttore d'acqua del Po, essendo la sua portata media alla confluenza inferiore solo a quella del Ticino.

L'Adda attraversa la Provincia di Sondrio nella sua intera parte sopralacuale. Nasce dal Passo dell'Alpisella a quota 2285 s.l.m. e, dopo aver disceso la Valle di Fraele giunge nel comune di Bormio. Il suo corso prosegue attraversando l'intera Valtellina, ivi lambendo anche la città di Sondrio, e successivamente si immette presso Colico (Provincia di Lecco) nel Lago di Como.

1.1.1 Principali affluenti del Fiume Adda

Belviso

Le sorgenti sono ubicate a circa 2450 m slm sotto al Passo di Belviso, e il torrente scorre per circa 15,5 km nella Val Belviso, formando anche l'omonimo lago artificiale per la presenza della Diga di Frera. Sfocia in Adda a monte dell'abitato di Trasenda.

Bitto

I suoi rami scorrono nella Val Gerola e nella Valle di Albaredo. Confluisce in Adda dopo aver attraversato l'abitato di Morbegno.

Cervio

Nasce dall'unione di due rami sorgentizi provenienti dal Monte Corno Stella e dal Monte Toro e confluisce in Adda a valle dell'abitato di Cedrasco, dopo un percorso di 12 km.

Frodolfo

Nasce dal Gran Zebrù presso il Ghiacciaio dei Forni, nel gruppo dell'Ortles-Cevedale (a 2770 m slm), percorre la Valfurva e, dopo 24 km, confluisce nell'Adda poco dopo Bormio. Il principale affluente, oltre al Gavia, è lo Zebrù.

Principali affluenti del Torrente Frodolfo:

- Gavia. Nasce al Passo di Gavia (2609 m slm), ai piedi del Corno dei Tre Signori, e si immette nel Frodolfo dopo aver percorso la Val di Gavia per 8 km.

Livrio

Nasce dal Lago del Publino (2116 m slm) e sfocia nell'Adda presso l'abitato di Caiolo dopo un percorso di 15 km.

Madrasco

Nasce al Passo Dordona e scorre per 13 km nella Val Madre, prima di confluire in Adda poco a valle dell'abitato di Fusine.

Mallero

Il Mallero nasce dai ghiacciai del Monte Disgrazia e del Passo del Muretto, a 2600 m slm. Nel suo ripido percorso di 27 km forma la Valmalenco e confluisce nel fiume Adda dopo aver attraversato Sondrio. Lungo il suo fondovalle è ubicato il paese di Chiesa in Valmalenco.

Principali affluenti del Torrente Mallero:

- Antognasco. Nasce dal Pizzo Scalino, e scorre per 19 km nella Val di Tegno. Confluisce nel Mallero, in Valmalenco, in comune di Spriana. La portata del torrente è sfruttata ai fini idroelettrici, nella centrale di Lanzada.
- Lanterna. Nasce dal Massiccio del Bernina, e scorre per 11 km in Valmalenco, dove confluisce nel Mallero. Lungo il corso del torrente si trovano i bacini artificiali di Campo Moro e Campo Gera, sfruttati ai fini idroelettrici.
- Torreggio. Nasce dal ghiacciaio del Cassandra, sul Monte Disgrazia, e scorre nella Valle Airale per 14,5 km, confluendo nel Mallero in Valmalenco.

Masino

Nasce al Passo di Bondo, tra il Pizzo Badile ed i Pizzi del Ferro, a 3169 m slm. Scorre per 22 km nella val Masino, dove riceve anche le acque del Mello, per poi confluire nell'Adda ad Ardenno.

Poschiavino

Nasce nelle Alpi Retiche dai laghi del Bernina a 2260 m s.l.m. e percorre la Valposchiavo. Forma il lago di Poschiavo nelle vicinanze di Le Prese, nel Canton Grigioni in Svizzera. Pur essendo lungo 27 km, di questi solo gli ultimi 3 sono in Provincia di Sondrio, dove entra confluendo nell'Adda vicino a Tirano.

Roasco

Nasce dai monti della Val Grosina, a 2240 m slm, e confluisce nell'Adda a Grosotto dopo 11 km. Riceve gli affluenti Rio di Verva, Rio di Cassaruolo e Rio di Avedo. A monte di Fusino è situata la diga di Val Grosina, che forma il bacino artificiale di Roasco. A Fusino si unisce al Roasco occidentale, che scende lungo la Val Grosina occidentale.

Tartano

Nasce presso il Monte Valegino a 2250 m slm. Dopo un percorso di circa 15 km attraverso la Val Tartano, sfocia in Adda a monte dell'abitato di Talamona, presso l'ampio conoide di materiale sciolto prodotto dalla sua stessa forza erosiva.

Viola - Bormina

Nasce dal Pizzo Val Nera, vicino al confine svizzero, a 3160 m slm. Percorre la Val Viola Bormina fino a confluire nell'Adda a Premadio (Valdidentro), dopo un percorso di 22 km.

1.2 FIUME MERA

Lungo 50 km, il fiume Mera fa parte del bacino idrografico dell'Adda. Nasce dal Piz Duan (a 3053 m slm), nel Canton Grigioni in Svizzera, e percorre la Val Bregaglia, entrando in Provincia di Sondrio subito dopo Castasegna. A Chiavenna piega verso sud bagnando il Piano di Chiavenna, forma il lago di Mezzola, scorre nel Pian di Spagna e si getta nel lago di Como vicino a Sorico (Provincia di Como). Vengono di seguito riportati i principali affluenti, includendo i tributari del Lago di Mezzola.

1.2.1 Principali affluenti del Fiume Mera

Acquafraggia

Nasce dal Pizzo di Lago a 3050 m slm, e confluisce da destra nel Mera a valle di Piuro. Il percorso del torrente si sviluppa in due valli sospese di origine glaciale, separate da cascate, tutelate da un Parco Naturale. Nella parte alta del corso forma il lago dell'Acqua Fraggia, a quota 2043 m.

Boggia

Nasce dal Pizzo Campanile a 2458 m slm, e scorre nella val Bodengo per 13 km, confluendo nel Mera a valle di Gordona.

Liro

Nasce dal Passo dello Spluga, a 2115 m slm presso il confine con la Svizzera, forma il lago di Montespluga e la Val San Giacomo e si immette nel fiume Mera presso Chiavenna, dopo 34 km.

Codera

Nasce dal Pizzo dei Vanni, a 2794 m slm, e scorre nella val Codera per 14 km, sfociando direttamente nel lago di Mezzola a valle di Novate Mezzola.

Ratti

Nasce dal Pizzo Ligoncio, a 3033 m slm, e sfocia nel lago di Mezzola a Verceia dopo aver attraversato la Valle dei Ratti lungo un percorso di 11 km.

1.3 FIUME RENO DI LEI

Il fiume Reno di Lei è uno dei rami di alimentazione del Reno, uno dei principali corpi idrici d'Europa. Sorge a 3213 m slm e scorre in Provincia di Sondrio solo per un breve tratto (15 km), in Val di Lei, una delle poche aree italiane ad essere ubicate oltre la linea di displuvio alpina principale. Lungo il corso del fiume è posizionata una diga per lo sfruttamento idroelettrico, che forma un lago artificiale quasi interamente italiano, benché essa si trovi in territorio elvetico. Questa particolarità è dovuta ad accordi internazionali italo - svizzeri.

1.4 TORRENTE SPÖL

Anche il Torrente Spöl, come il Reno di Lei, è situato oltre la linea di displuvio delle Alpi: confluisce nell'Inn, che è a sua volta tributario del Danubio. Nasce vicino alla Forcola di Livigno, a quota 2315 m slm, e scorre nella Val di Livigno, per immettersi nel Lago del Gallo. All'uscita dal lago entra nel territorio del Canton Grigioni. La lunghezza complessiva del torrente è di 28 km.

2. IL QUADRO CONOSCITIVO

La prima fase del presente studio è stata caratterizzata dalla analisi della documentazione messa a disposizione dalla Provincia di Sondrio e degli studi attinenti alla tutela quali-quantitativa dei corpi idrici, non solo della Provincia di Sondrio ma anche di altre realtà territoriali.

Il materiale acquisito è elencato in bibliografia. Di seguito vengono brevemente richiamati gli Studi e i Piani utili alla successiva trattazione:

- Provincia di Sondrio. Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP), settembre 2005;
- Regione Lombardia. Quaderni Regionali di Ricerca n. 33 – Disponibilità ed ottimizzazione nell'uso della risorsa idrica, 1999;
- Regione Lombardia. Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA), marzo 2006;
- Provincia di Sondrio – Montana. Progetto di riqualificazione dei corsi d'acqua: pianificazione dell'utilizzo delle risorse idriche con particolare riferimento agli impianti idroelettrici, giugno 2007;
- Autorità di Bacino del Fiume Po. Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) – Allegato 1 al Titolo III delle Norme di Attuazione del PAI: Bilancio idrico per il sottobacino dell'Adda sopralacuale, 2001;
- Studi vari effettuati su altri Bacini Idrografici che definiscono le criticità quali-quantitative dei corsi d'acqua e i criteri e le condizioni per il rilascio delle derivazioni idriche nei corpi idrici superficiali.

2.1 PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE (PTCP) DELLA PROVINCIA DI SONDRIO ADOTTATO NEL SETTEMBRE 2005

Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP), adottato nel settembre 2005 ed ora sottoposto alla Valutazione Ambientale Strategica e agli studi di aggiornamento tra cui il presente studio, ha individuato come strategica la tutela dei corpi idrici per la tutela del paesaggio e dell'ambiente della Provincia di Sondrio. L'art. 30 delle Norme di Attuazione del PTCP definisce quattro tipi di azione mediante i quali verrà perseguita la tutela dei corpi idrici:

1. controllo del rispetto delle concessioni in atto;
2. nuova definizione delle classi di criticità dei corsi d'acqua;
3. tutela delle aree di particolare interesse naturalistico e paesistico;
4. studi pilota in appoggio all'elaborazione del Piano Energetico Provinciale.

La nuova definizione delle classi di criticità dei corsi d'acqua (seconda azione) viene compiuta attraverso il presente studio. L'art. 30 stabilisce infatti che lo studio dovrà fissare una nuova metodologia per definire le classi di criticità, maggiormente riferita alla specificità delle condizioni locali, in alternativa e/o ad integrazione dei criteri di calcolo indicata nel PAI. Fino alla definizione delle nuove classi di criticità la verifica di compatibilità delle domande di concessione, per i corsi d'acqua, fa riferimento alle classi di criticità e norme indicate nel titolo III delle Norme d'Attuazione del PAI, più oltre richiamate.

La terza azione tutela i corsi d'acqua, ad eccezione dell'Adda e del Mera, che si sviluppano a monte, intersecano o lambiscono le seguenti aree ed episodi (v. Figura 2):

- le aree di particolare interesse naturalistico e paesistico di cui all'art. 16 delle norme di attuazione e rappresentate nella cartografia del PTCP;
- i parchi regionali e nazionali istituiti e le altre aree protette istituite;
- le aree indicate all'art. 136 del D. leg.vo 22 gennaio 2004 n. 42 individuati a norma degli articoli 137, 138, 139, 140, 141 nonchè tutelate dall'art. 142 del medesimo decreto;
- le aree interessate dalla rete Natura 2000 (Siti di Interesse Comunitario SIC e Zone di Protezione Speciale ZPS);
- le cascate rappresentate nella cartografia del PTCP.

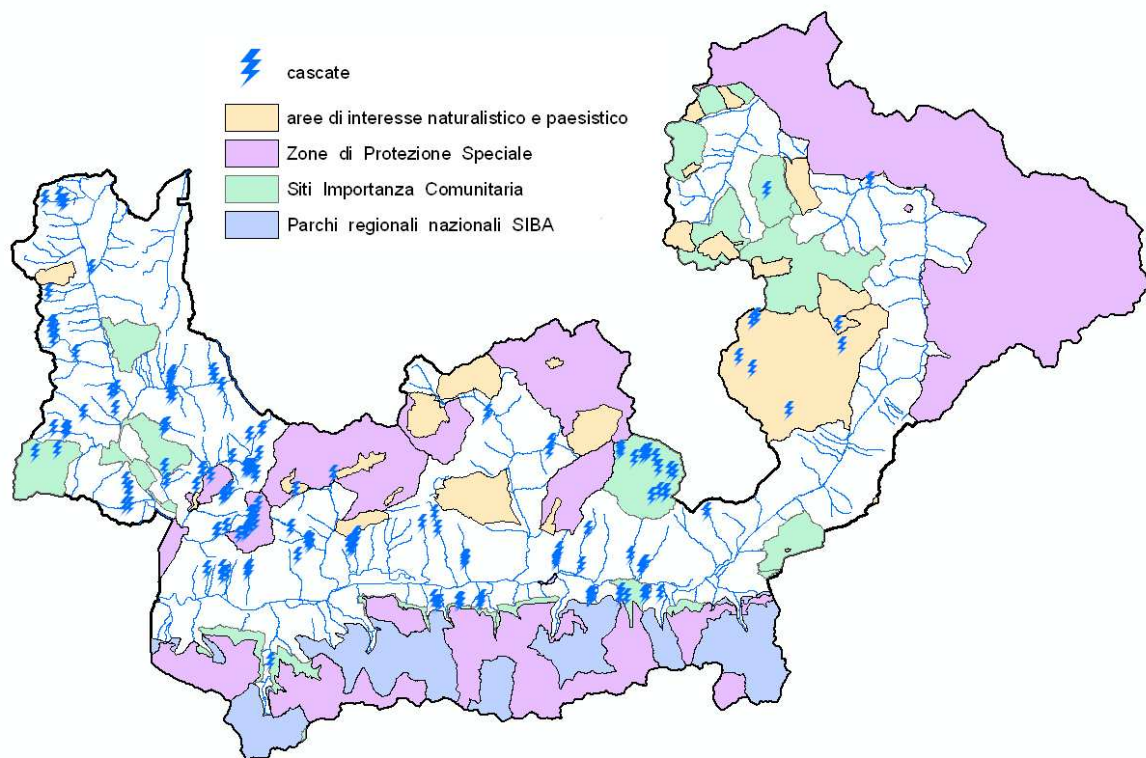


Figura 2. Aree tutelate dal PTCP della Provincia di Sondrio adottato nel settembre 2005.

Lungo i corsi d'acqua così evidenziati non sono consentite concessioni per nuovi prelievi idroelettrici, o per l'incremento di quelli in atto.

Per le tratte dei corsi d'acqua evidenziati situate esclusivamente a monte delle aree e degli episodi di valore naturalistico e paesistico di cui sopra possono essere consentiti impianti idroelettrici ad acqua fluente, che non apportino alcuna significativa alterazione al deflusso all'interno di dette aree o nelle cascate.

Le limitazioni di cui sopra possono essere derogate per la costruzione di impianti idroelettrici con potenza nominale inferiore o uguale a 30 kW, utilizzati per autoconsumo in loco (alpeggi, rifugi, abitazioni rurali, case sparse, piccoli agglomerati, ecc...), per alimentare zone sprovviste di linee elettriche (nel caso in cui l'allacciamento alla rete distribuzione non sia attuabile per motivi tecnico – economici) e per l'uso plurimo delle acque potabili (in tal caso anche per potenze nominali superiori a 30 kW).

Per le concessioni in atto sarà avviata una particolare verifica della compatibilità dei prelievi già concessi con la tutela della qualità dell'ambiente.

2.2 QUADERNI REGIONALI DI RICERCA N. 33 – DISPONIBILITÀ ED OTTIMIZZAZIONE NELL'USO DELLA RISORSA IDRICA, REGIONE LOMBARDIA

Lo studio “Disponibilità ed ottimizzazione nell’uso della risorsa idrica” - Quaderni Regionali di Ricerca n. 33 della Regione Lombardia (1999) ha sintetizzato le conoscenze idrologiche già esistenti e ha individuato le curve regionalizzate di durata delle portate della parte alpina e prealpina della Regione, sulla base dei dati idrologici disponibili presso gli Enti pubblici e le Società Idroelettriche. Sono riportate le curve di durata osservate e ottenute con il metodo di regionalizzazione ottenuto dallo studio, nelle stazioni di misura della Provincia di Sondrio (v. successive figure alla pag. 47 e seguenti).

Tale studio ha anche individuato un indice di compatibilità ambientale dei progetti idroelettrici per valutare se la prevista produzione energetica sia accettabile nei confronti delle implicazioni ambientali che l’impianto comporta. Tale indice è poi confluito nel D.G.R. 7/2604 dell’11 dicembre 2000 (poi abrogato dall’art.40 del Regolamento Regionale del 24 marzo 2006).

2.3 PROGRAMMA DI TUTELA E USO DELLE ACQUE (PTUA) DELLA REGIONE LOMBARDIA

Il Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA), adottato nel 2006 dalla Regione Lombardia in base ai sensi del D. Lgs. 152/1999, è stato elaborato sulla base di una complessa metodologia sintetizzata in Figura 3, in cui sono anche indicati i capitoli della Relazione Generale del PTUA corrispondenti ad ogni argomento.

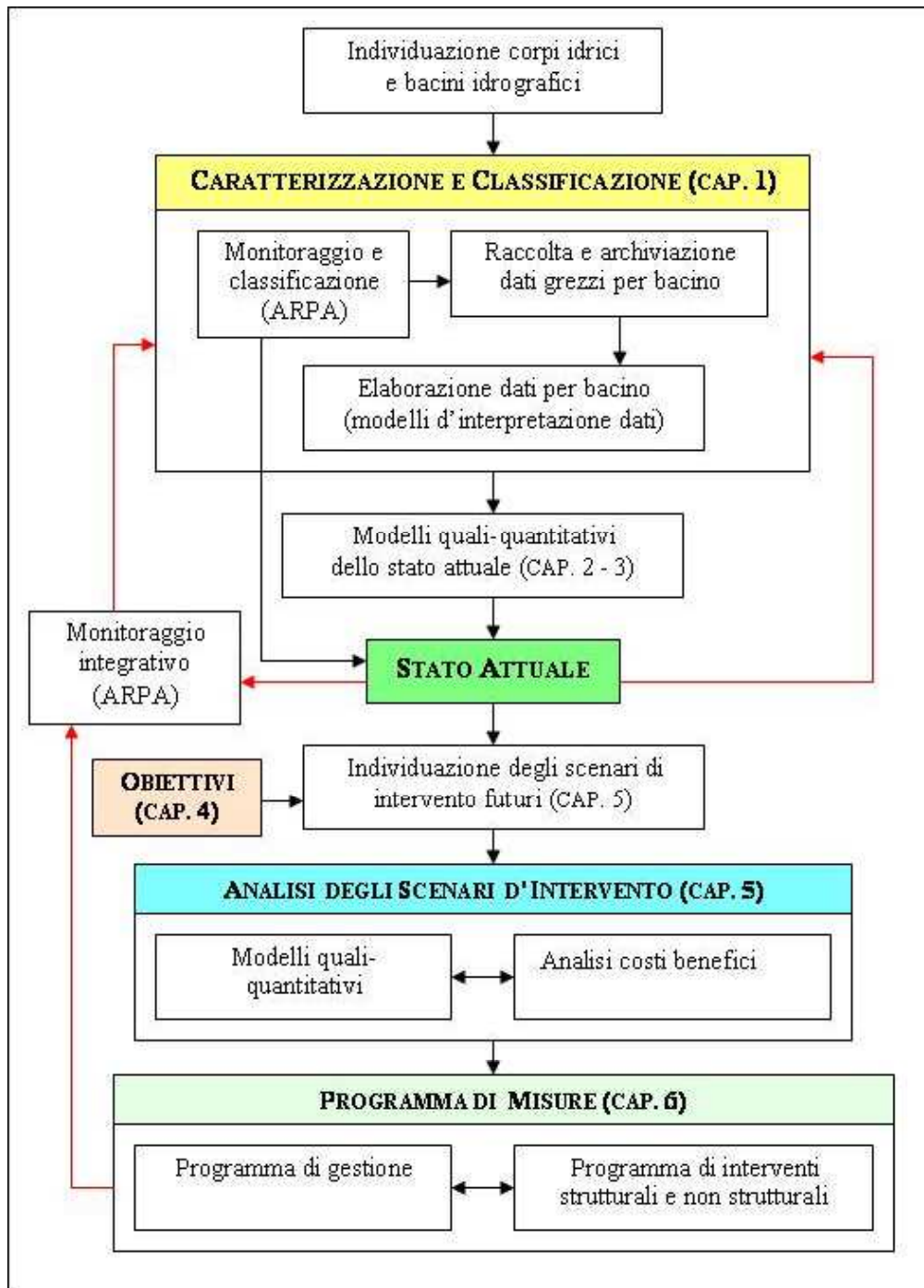


Figura 3. Sintesi delle attività contenute nel PTUA.

Le indagini e le modellazioni quali-quantitative delle risorse idriche superficiali e sotterranee della regione sono state condotte sia con riferimento allo stato attuale sia a diversi scenari di pianificazione al 2008 e al 2016. Sono state così individuate le classificazioni riportate nelle seguenti figure (da Figura 4 a Figura 11).

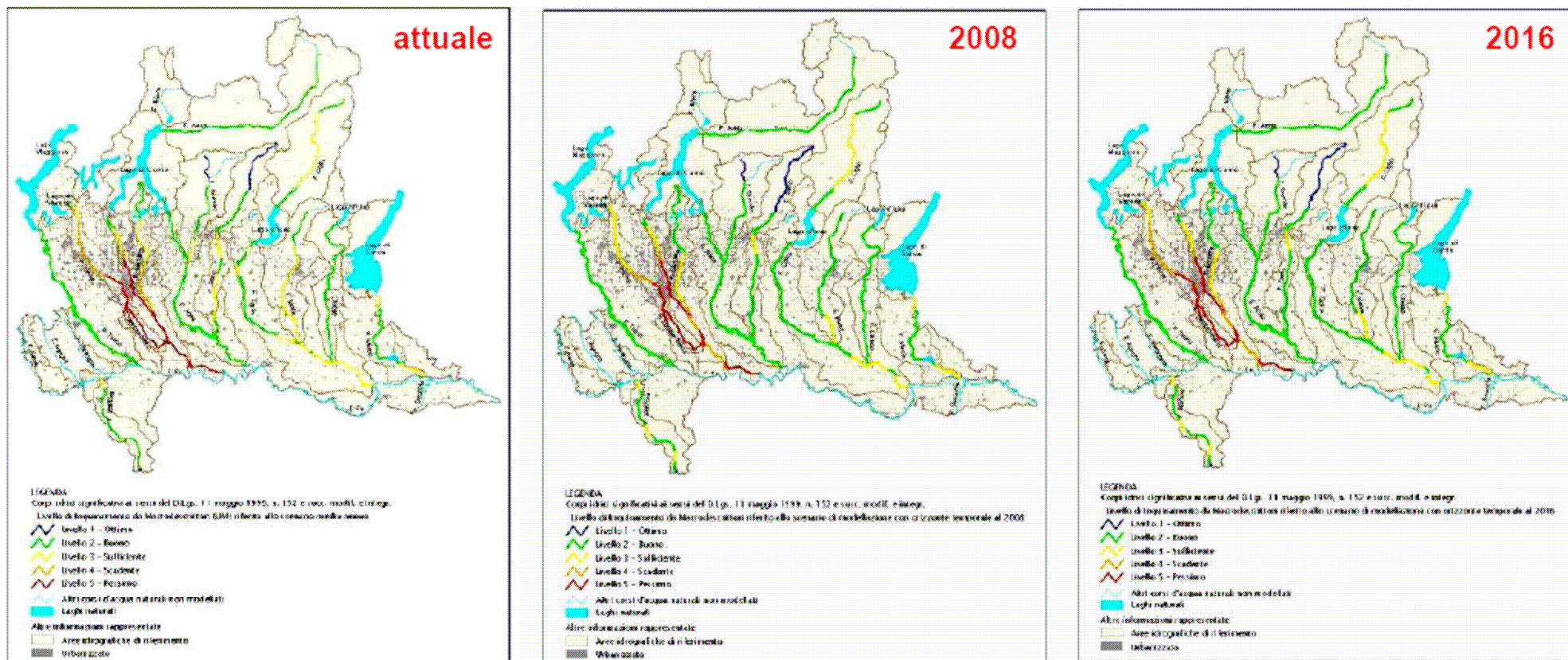


Figura 4. Qualità LIM delle aste fluviiali oggetto della modellazione (PTUA).

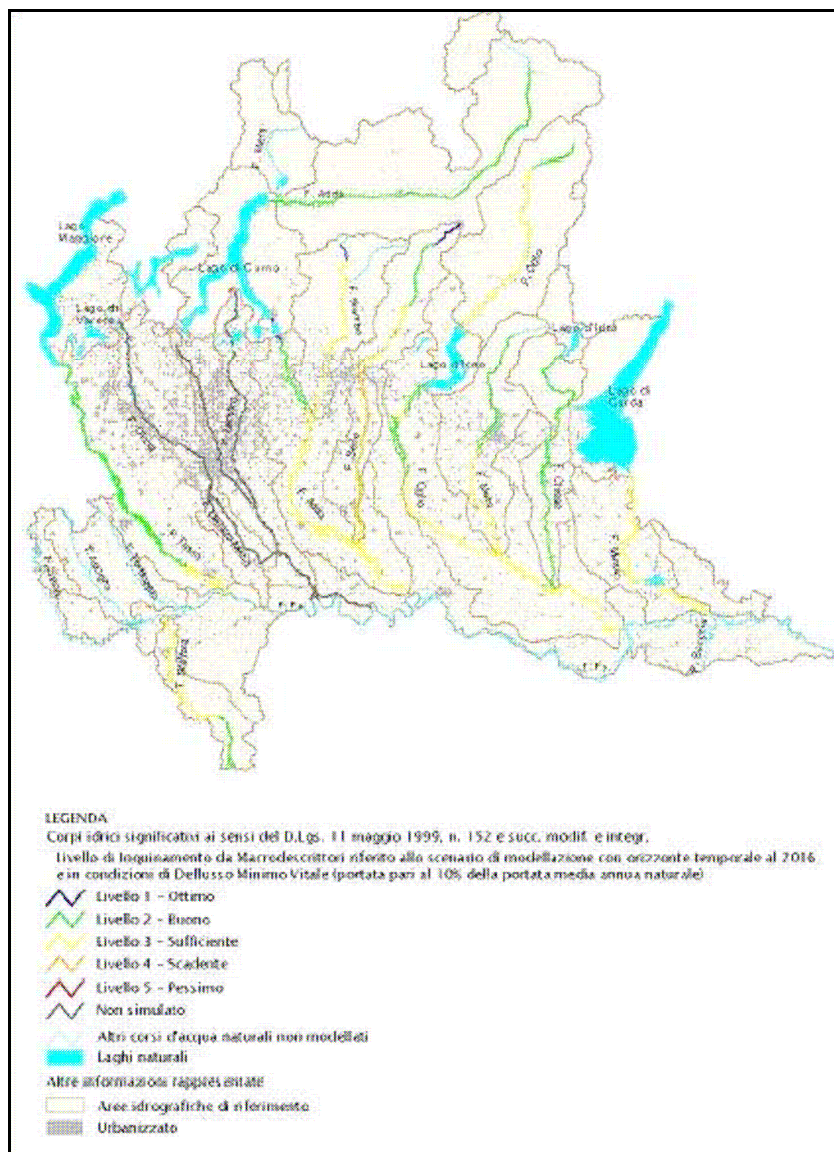


Figura 5. Carta delle criticità delle aste fluviali modellate in condizioni di DMV. La carta mostra la qualità al 2016 con portata pari al 10 % della portata media annua naturale (PTUA).

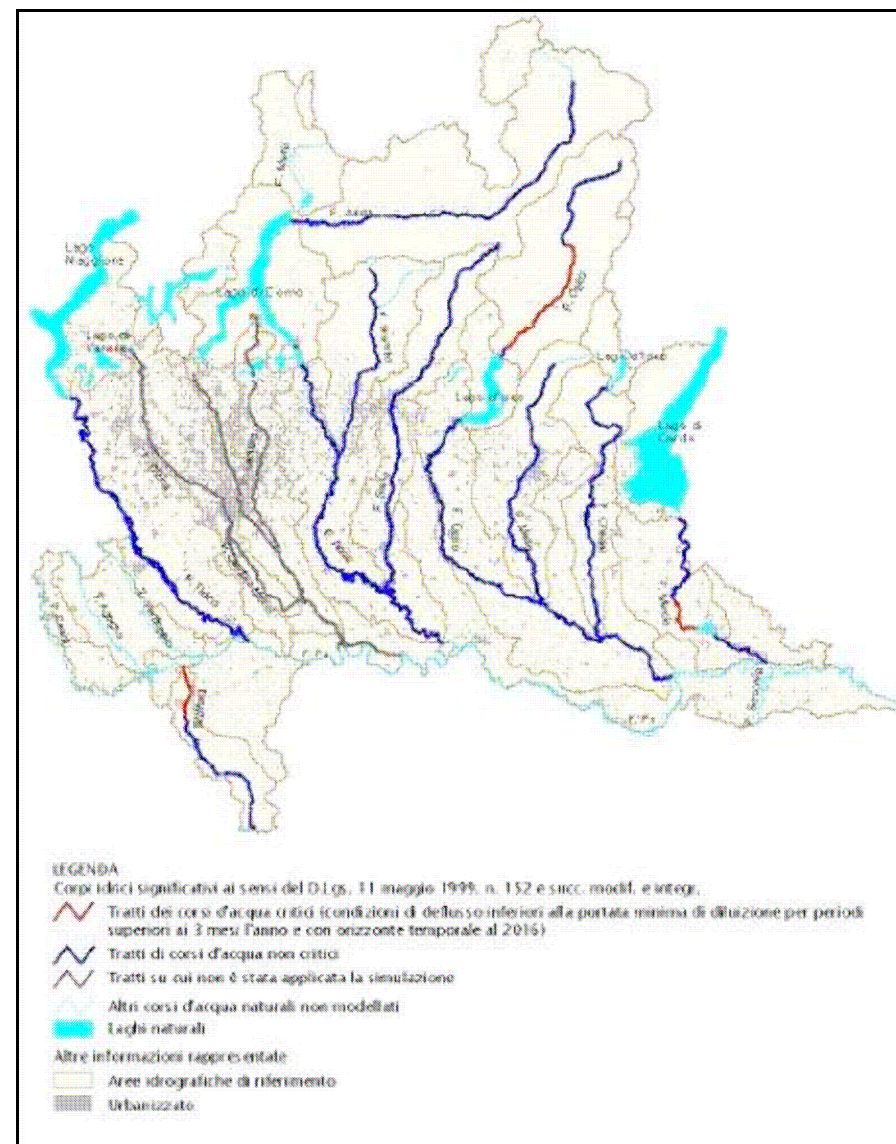


Figura 6. Mappa dei tratti in cui la presenza di deflussi inferiori alla portata minima di diluizione (valutata come $Q \cdot 10\%$ portata media annua naturale) per periodi superiori ai 3 mesi l'anno potrebbe compromettere il rispetto dell'obiettivo di qualità LIM al 2016.

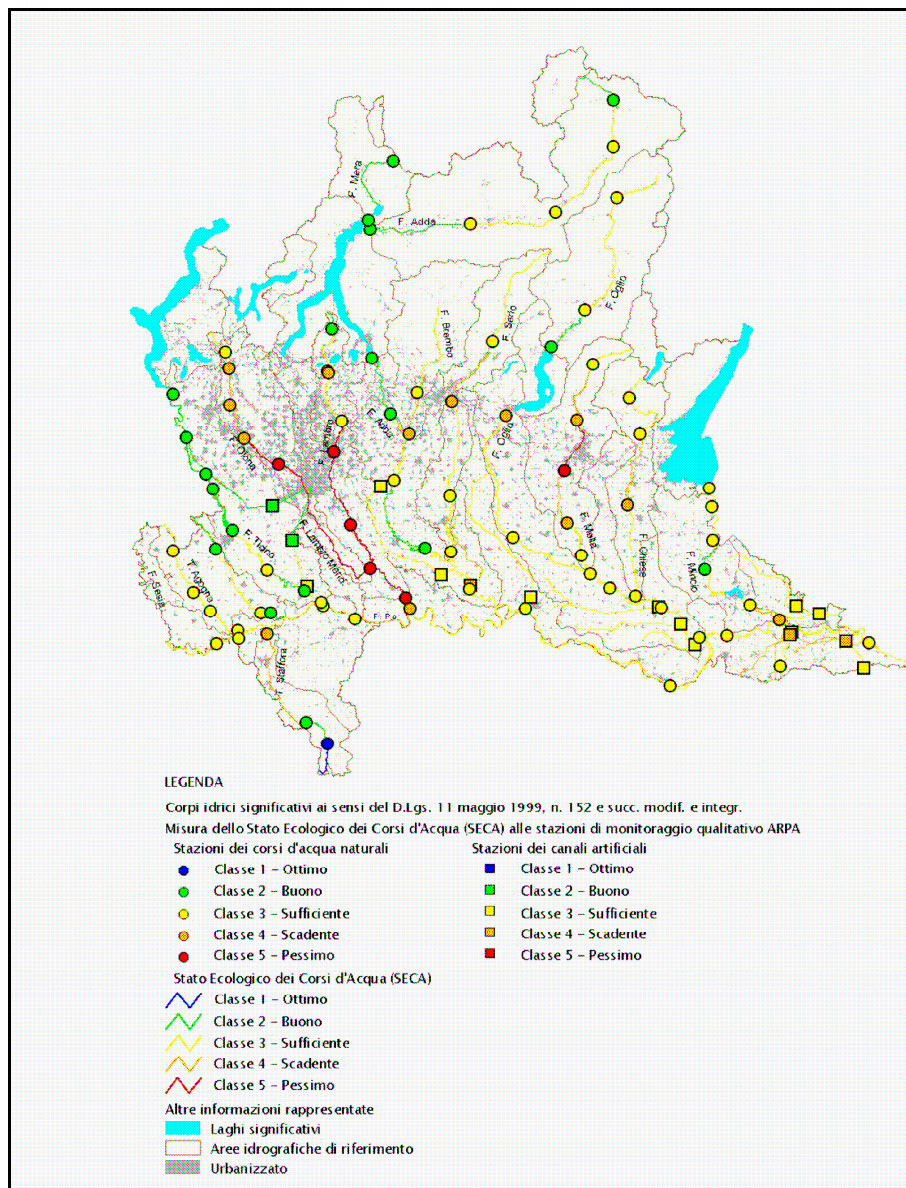


Figura 7. Classificazione dei corsi d'acqua significativi SECA.

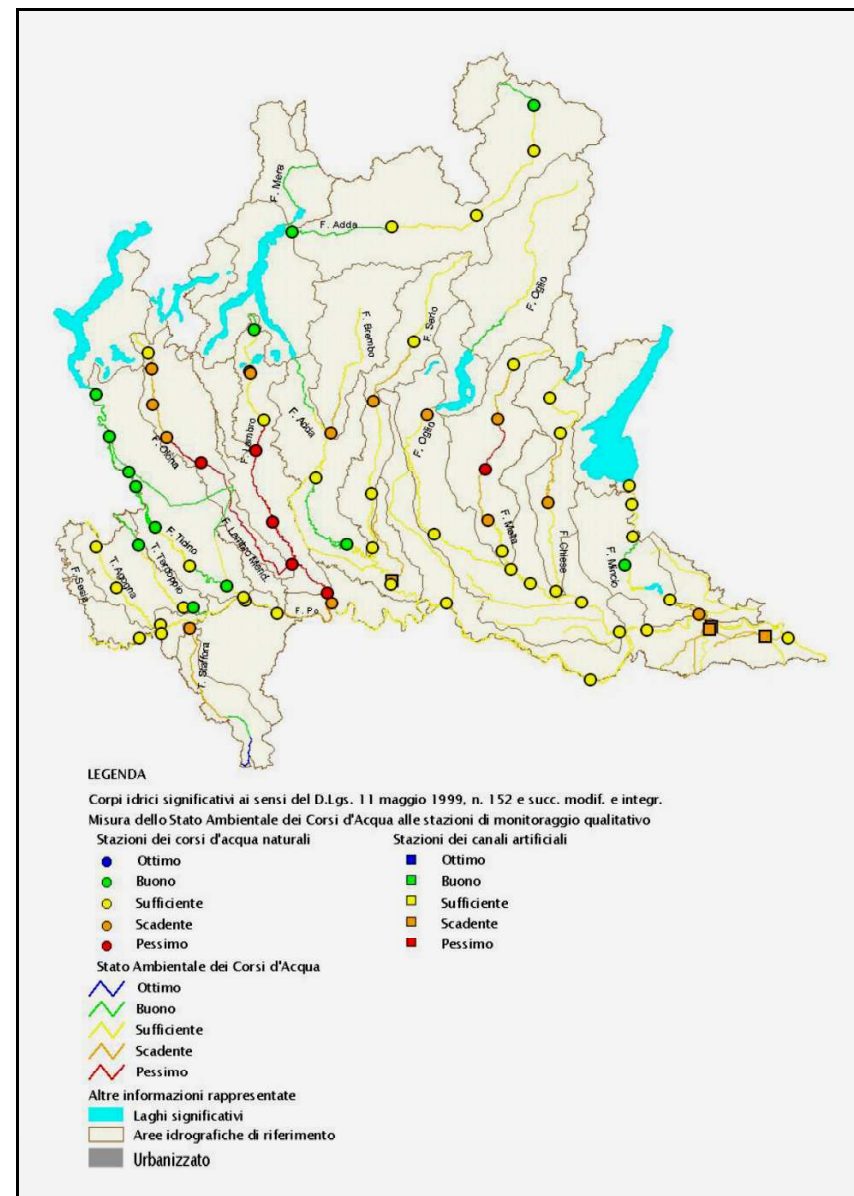


Figura 8. Classificazione dei corsi d'acqua significativi SACA.

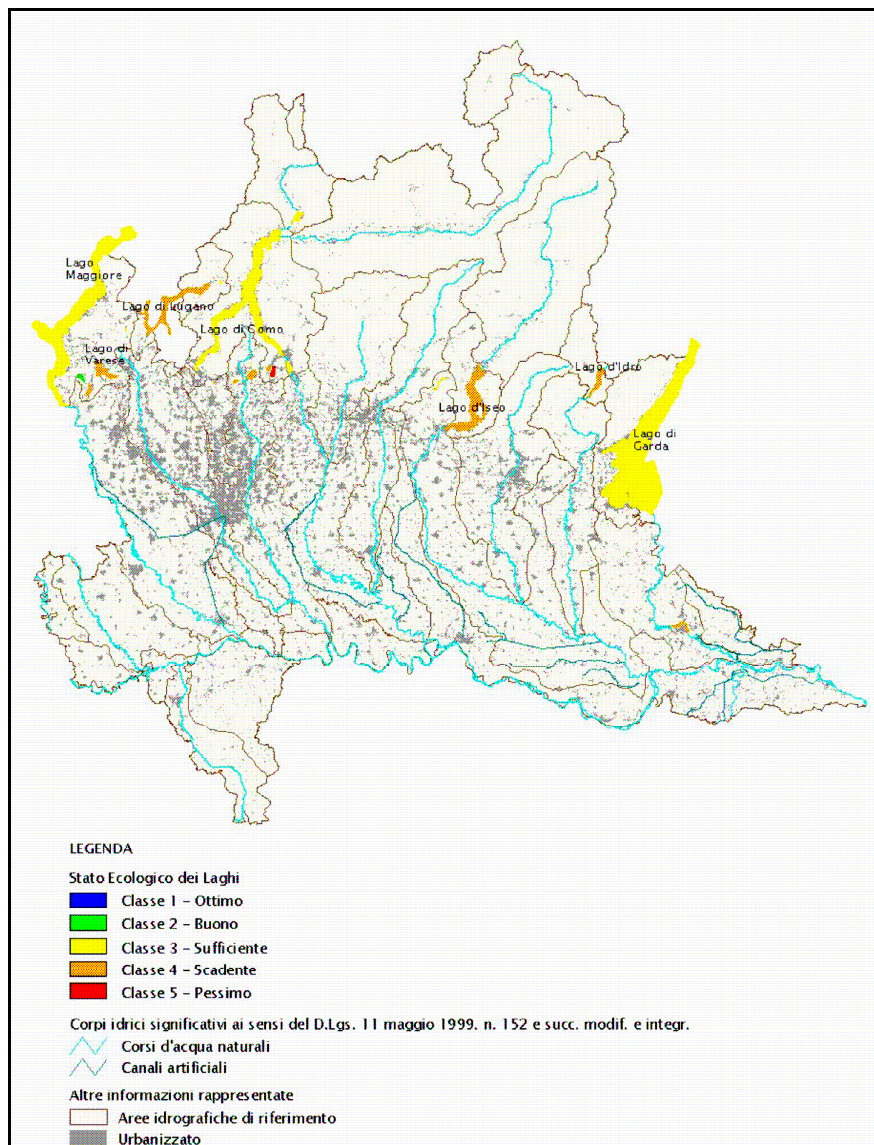


Figura 9. Classificazione dei laghi SEL.

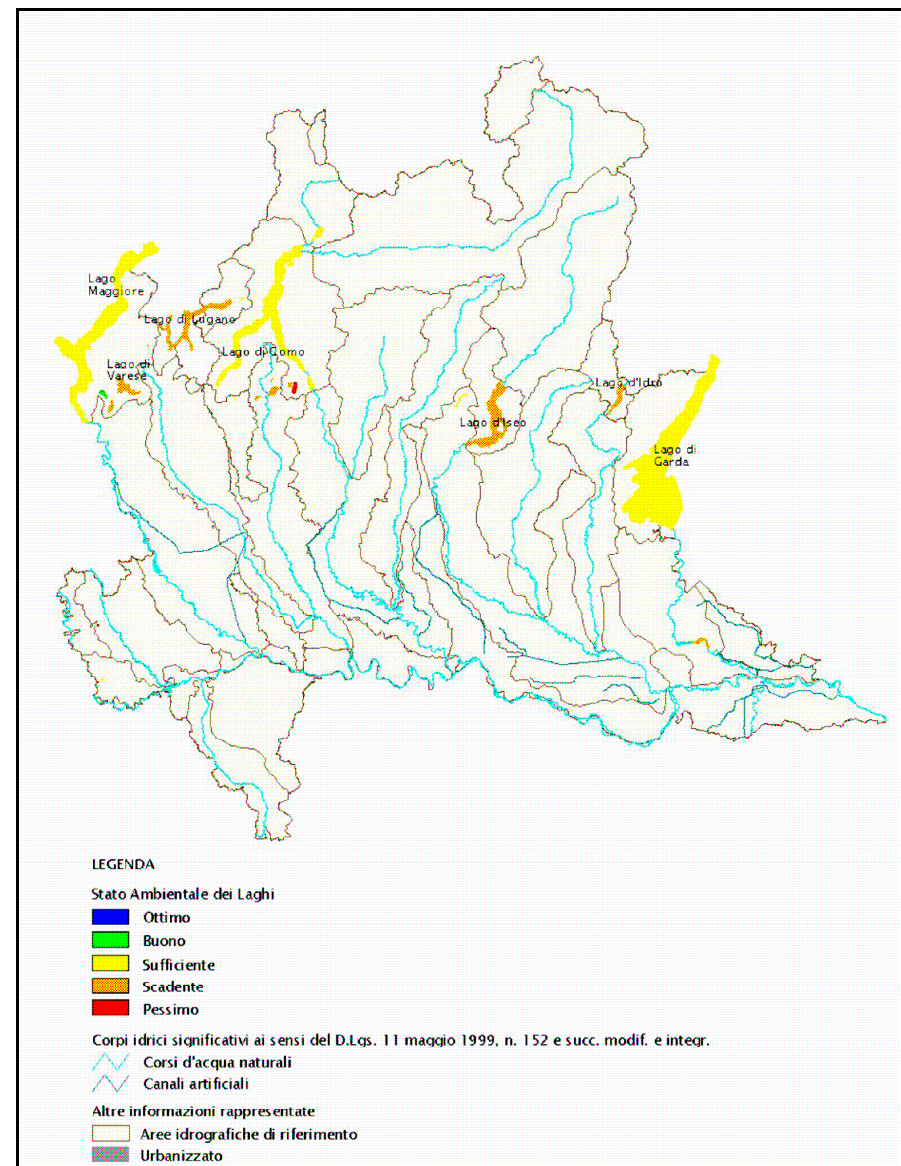


Figura 10. Classificazione acque lacustri SAL.

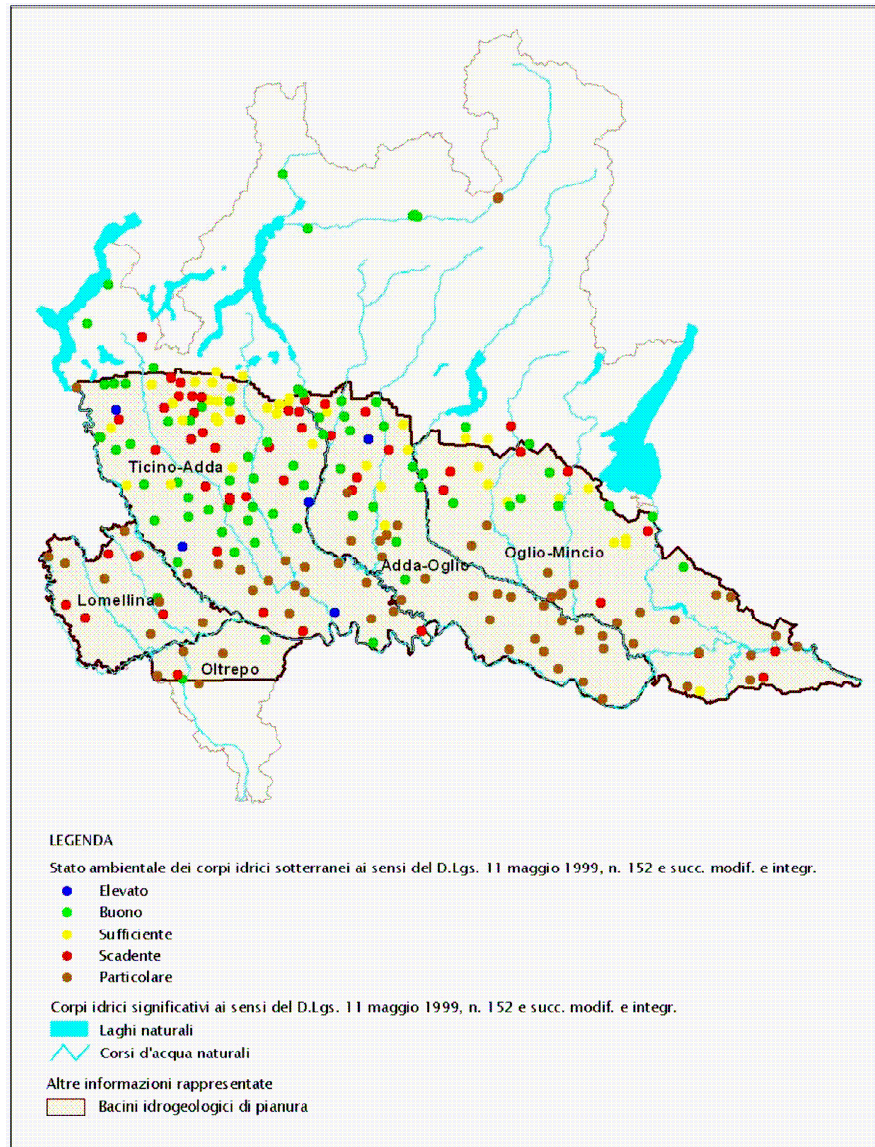


Figura 11. Classificazione qualitativa delle acque sotterranee.

Per quanto riguarda gli argomenti oggetto del presente studio di aggiornamento del PTCP, l'Allegato 2 alla Relazione Generale del PTUA della Regione Lombardia riporta la stima delle precipitazioni piovose e nevose e definisce gli strumenti da adottare per la stima regionalizzata delle portate medie annue "naturali" nei corsi d'acqua regionali, sulla base dei valori delle portate fluviali note o ricostruite nelle sezioni monitorate.

In particolare il PTUA ha definito un modello dettagliato – a scala mensile – per la valutazione quantitativa della risorsa idrica basato sul bilancio idrologico in cui vengono considerati i meccanismi rappresentati in Figura 12. Data la carenza di dati l'applicazione di tale modello dettagliato è stata effettuata, a livello di sperimentazione, solo per il bacino dell'Olna settentrionale (Allegato 4 alla Relazione Generale).

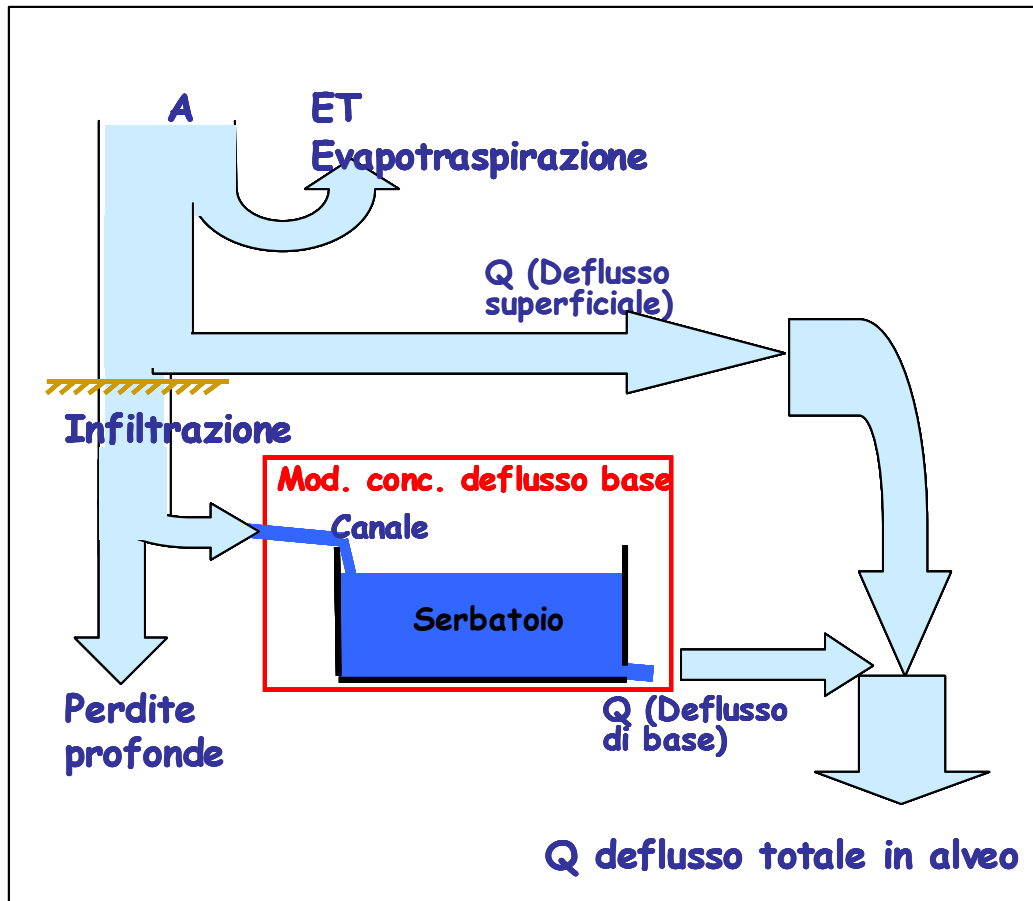


Figura 12. Schematizzazione concettuale del modello idrologico del PTUA.

Per tutti gli altri casi è stata invece definita una procedura semplificata di stima regionale delle portate naturali, basata sull'elaborazione della carta delle precipitazioni medie dell'intera Regione (v. Figura 17), che ha condotto (v. Allegato 2) alla stima della portata naturale media annua e media mensile in ottanta sezioni fluviali dei principali corsi d'acqua della Regione (di cui sette nella Provincia di Sondrio).

La metodologia semplificata del PTUA è stata riproposta dalla Regione Lombardia anche nella "Direttiva per l'adeguamento delle derivazioni al rilascio del Deflusso Minimo Vitale" del febbraio 2008. Tale Direttiva stabilisce che per il calcolo della portata ai fini dell'adeguamento delle derivazioni al rilascio del Deflusso Minimo Vitale (DMV) è possibile utilizzare la procedura del PTUA in due differenti modi:

- a) applicando il metodo dei “topoietri” ai dati pluviometrici disponibili;
- b) adottando la carta delle precipitazioni in Figura 17 e applicando un fattore correttivo.

In entrambe le procedure è necessario introdurre il contributo nivale come definito dalla Tabella 3.

Questa stessa procedura di regionalizzazione del PTUA è stata utilizzata nel presente studio, con le modalità ed integrazioni descritte nel cap. 3.

2.4 PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

Il Titolo III delle Norme di Attuazione del PAI (2001) è stato introdotto in ragione della necessità di dare attuazione urgente a quanto disposto dalla L. 2 maggio 1990, n. 102 (Disposizioni per la ricostruzione e la rinascita della Valtellina e delle adiacenti zone delle provincie di Bergamo, Brescia e Como, nonché della provincia di Novara, colpite dalle eccezionali avversità atmosferiche dei mesi di luglio e agosto 1987) per la Valtellina relativamente alle derivazioni d'acqua per utilizzo idroelettrico.

Il comma 3 dell'art. 8, comma 3, della legge 102/90 stabiliva che fino all'approvazione del Piano di Bacino del Po, nei territori della Valtellina, non potevano essere rilasciate nuove concessioni di grandi derivazioni d'acqua per la produzione di energia elettrica.

All'Allegato 1 “Bilancio idrico per il sottobacino dell'Adda sopralacuale” al Titolo III delle Norme di Attuazione del PAI è riportato il bilancio idrico per i singoli corsi d'acqua considerati in cui è riportato il saldo idrico, inteso come valore medio annuo della portata presente al netto delle derivazioni in atto.

Il bilancio idrico è stato effettuato su 124 sezioni caratteristiche delle aste fluviali considerando unicamente le grandi derivazioni idroelettriche e tenendo conto dei soli deflussi idrici superficiali ossia trascurando il contributo, positivo o negativo, del sotterraneo.

La distribuzione nell'anno della risorsa idrica disponibile è stata caratterizzata attraverso la curva di durata della portata. In funzione di tali curve il bilancio è stato impostato sulla base dei valori medi annui di lungo periodo.

La potenzialità idrica dell'Adda e dei suoi affluenti valtellinesi è stata individuata tramite un'apposita analisi idrologica. A tal fine sono state identificati i valori dei contributi unitari in $l/s/km^2$ di competenza dei diversi sottobacini e le curve di durata delle portate rappresentative del regime dei deflussi dell'Adda e dei bacini in sinistra e in destra.

I dati idrologici utilizzati sono relativi alle stazioni: Viola a Premadio, Mallero al Curlo, Roasco d'Eita, Venina (afflussi al lago), Madrasco a Grumello, Livrio Superiore, Frodolfo a S.Caterina, Adda a S.Lucia, Adda a Sernio, Adda a Tirano, Adda a Boffetto (Ponte Baghetto), Adda a Fuentes e derivazione Spöl a S. Giacomo.

Nello studio si è cercato di ottenere un legame tra i contributi unitari e i fattori geomorfologici e climatici dei bacini della Valtellina tra cui la superficie e la quota dei bacini, la pluviometria, ecc.. L'analisi della regressione effettuata non ha consentito di individuare alcuna dipendenza del contributo unitario annuo dai suddetti fattori.

Si è ipotizzata, allora, l'esistenza dell'analogia tra le oscillazioni a lungo termine del regime idrologico dei singoli sottobacini dell'Adda con quello dell'Adda a Fuentes.

Conseguentemente il rapporto tra il valore medio del contributo annuo calcolato su un campione ridotto di n anni e il valore medio del contributo annuo calcolato sul campione esteso di N anni deve essere per ogni sottobacino equivalente al medesimo rapporto calcolato per l'Adda a Fuentes.

Pertanto la media di lungo termine è stata calcolata applicando il coefficiente correttivo dato dal suddetto rapporto alle medie dei singoli bacini.

Il valore del contributo unitario dei bacini sottesi da sezioni di misura è stato esteso ai bacini aventi caratteristiche idro-meteorologiche simili.

In relazione ai risultati ottenuti dal bilancio idrico, il PAI ripartisce i corsi d'acqua principali del bacino idrografico a diversa classe di criticità (Figura 13), in dipendenza dello scostamento tra la disponibilità media naturale della risorsa idrica e il saldo idrico derivante dalla presenza delle derivazioni.

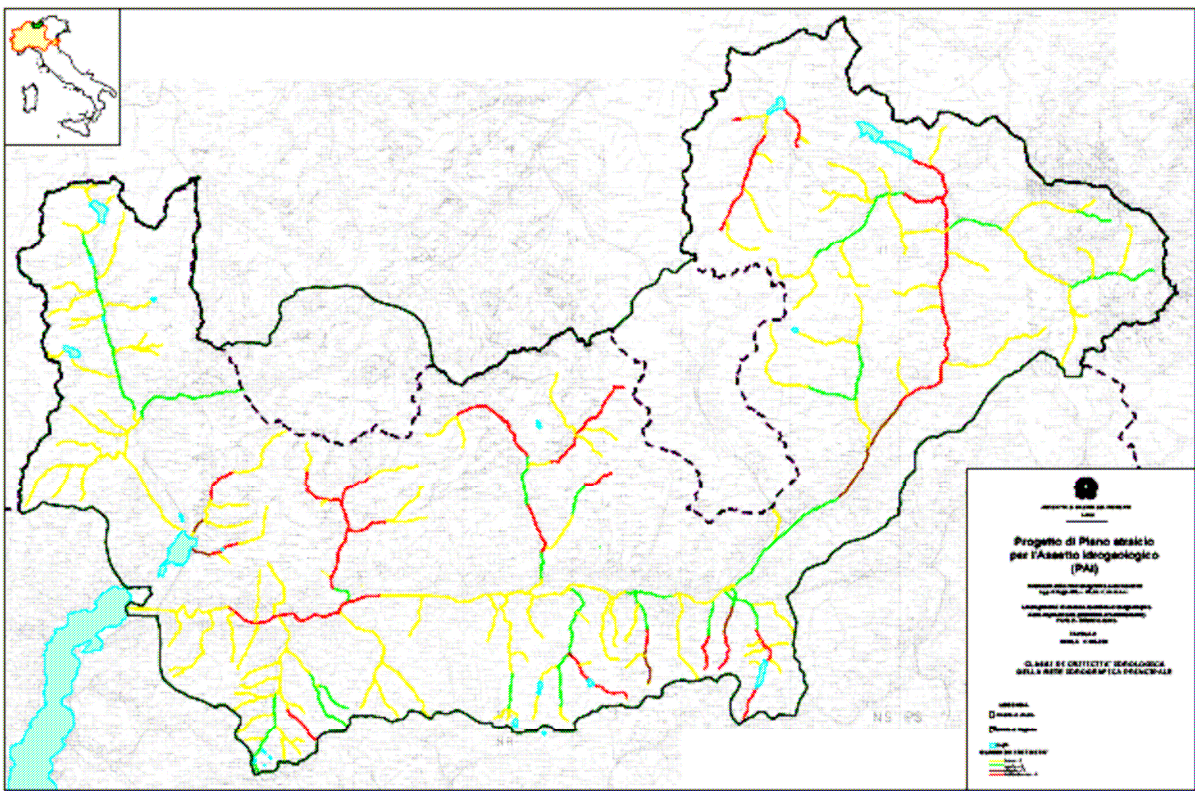


Figura 13. Classi di criticità definite dal PAI: bassa (colore giallo), media (colore verde), elevata (colore marrone), molto elevata (colore rosso).

Sono individuate le seguenti classi di criticità:

- C 1 – moderata, in cui il saldo idrico medio annuo, valutato nel bilancio idrico, è superiore alla portata con durata 182 giorni (è superiore al 35% della portata media annua);
- C 2 – media, in cui il saldo idrico medio annuo, valutato nel bilancio idrico, è compreso tra le portate di durata 182 e 274 giorni nell'anno medio;
- C 3 – elevata, in cui il saldo idrico medio annuo, valutato nel bilancio idrico, è compreso tra le portate di durata 274 e 355 giorni nell'anno medio (è compreso tra il 20% e il 10% della portata media annua);
- C 4 – molto elevata, in cui il saldo idrico medio annuo, valutato nel bilancio idrico, è inferiore alla portata di durata 355 giorni nell'anno medio;

Ai fini del rilascio di nuove concessioni di utilizzazione per grandi derivazioni d'acqua le prescrizioni stabilite dal PAI sono le seguenti:

- a) nei tratti di corsi d'acqua classificati a criticità C4 e C3 non possono essere rilasciate nuove concessioni;
- b) nei tratti di corsi d'acqua classificati a criticità C1 e C2, possono essere rilasciate nuove concessioni, a condizione che:

- la classe di criticità del tratto di corso d'acqua non superi per l'effetto della nuova concessione il valore C2 sopra definito, valutato sulla base del bilancio idrico secondo la metodologia dell'Allegato 1 al titolo III delle norme del PAI;
- non sia compromesso il raggiungimento o il mantenimento degli obiettivi indicati dal D.Lgs. 152/1999 e successive modifiche;
- sia garantito il deflusso minimo vitale in alveo.

Nei tratti classificati a criticità C4 e C3 l'Autorità di bacino del fiume Po, di concerto con la Regione Lombardia e la Provincia di Sondrio, promuove azioni volte al miglioramento della qualità ambientale e la riduzione del grado di criticità.

Per le richieste di rinnovo o di variante di concessioni esistenti di utilizzazione per grandi derivazioni d'acqua le prescrizioni stabilite dal PAI sono le seguenti:

- a) nei tratti di corsi d'acqua classificati a criticità C4 e C3 il rinnovo o la variante di concessione è subordinato ad una riduzione della portata media derivata, definita dalla Regione Lombardia in funzione degli obiettivi indicati dal D.Lgs. 152/99 e successive modifiche e fatte salve le prescrizioni relative alla garanzia del deflusso minimo vitale;
- b) nei tratti di corsi d'acqua classificati a criticità C2 e C1 il rinnovo o la variante di concessione è soggetto alle stesse prescrizioni di cui al punto b).

2.5 PROVINCIA DI SONDRIO (STUDIO MONTANA) - PROGETTO DI RIQUALIFICAZIONE DEI CORSI D'ACQUA: PIANIFICAZIONE DELL'UTILIZZO DELLE RISORSE IDRICHE CON PARTICOLARE RIFERIMENTO AGLI IMPIANTI IDROELETTRICI

La Società Montana s.r.l. nell'ambito dello Studio effettuato per conto della Provincia di Sondrio sulla riqualificazione dei corsi d'acqua (Studio Montana) ha predisposto un nuovo archivio delle derivazioni esistenti nella Provincia di Sondrio contenente le informazioni originariamente suddivise in modo parziale nei diversi archivi degli Enti Pubblici e organizzato il progetto GIS con l'inserimento dei dati vettoriali inerenti le derivazioni.

Nello Studio è stata, inoltre, applicata la metodologia PTUA per la quantificazione della portata media annua nelle sezioni di presa delle derivazioni in Provincia di Sondrio.

Il nuovo archivio e il progetto GIS dello Studio Montana sono stati la fonte dei dati riguardante la localizzazione delle derivazioni idroelettriche, su cui si è basata l'analisi delle portate antropizzate effettuata nel presente studio e descritta nel successivo cap. 6.

2.6 CRITERI DI CRITICITÀ DEI CORSI D'ACQUA ADOTTATI IN PRECEDENTI STUDI

Per la definizione di nuovi criteri di analisi delle criticità dei corsi d'acqua della Valtellina e della Valchiavenna sono stati esaminati gli studi effettuati su altre realtà territoriali che definiscono le criticità quali-quantitative dei corsi d'acqua e i criteri e le condizioni per il rilascio delle derivazioni idriche nei corpi idrici superficiali.

Oltre al PAI, precedentemente descritto, che adotta una precisa definizione della criticità quantitativa dei corsi d'acqua principali della Provincia di Sondrio, sono stati analizzati le seguenti altre pianificazioni:

- Autorità di Bacino Interregionale del fiume Magra. Piano Stralcio "Tutela dei corsi d'acqua interessati da derivazioni";
- Autorità di Bacino del Fiume Arno. Progetto di Piano di Bacino – Stralcio "Bilancio idrico";

- Regione Valle d'Aosta. Piano di Tutela e Uso delle Acque.

2.6.1 Piano Stralcio “Tutela dei corsi d’acqua interessati da derivazioni” – Autorità di Bacino Interregionale del fiume Magra

Il Piano “Tutela dei corsi d’acqua interessati da derivazioni” del fiume Magra evidenzia la necessità di contenere l’intensità e l’estensione spaziale delle derivazioni. Un primo accorgimento con questo fine è incorporato nella formula di calcolo del DMV in cui, attraverso il fattore L, vengono imposti obblighi di rilascio tanto più elevati quanto maggiore è la distanza tra il punto di presa e quello di restituzione delle acque (cioè quanto più lungo è il tratto fluviale soggetto a impoverimento idrico). Questa scelta intende ottimizzare l’uso delle risorse idriche, favorendo le derivazioni nelle situazioni più vocate (per la maggiore pendenza o la maggiore portata) e scoraggiandola in quelle meno vocate ove, per ottenere il salto necessario, si è costretti a restituire le acque a diversi km di distanza.

Il Piano riconosce che questo solo accorgimento non è tuttavia sufficiente poiché le sue finalità risulterebbero vanificate da una successione ininterrotta di derivazioni in cui l’acqua restituita da una di esse venisse poco dopo captata dalla successiva. Ne risulterebbe infatti un corso d’acqua impoverito, affiancato da una rete idraulica artificiale invisibile (costituita dalle tubazioni) nella quale scorrerebbe buona parte della portata naturale.

Il Piano pone quindi un limite alla densità massima ammissibile di derivazioni idroelettriche e individua, come soluzione tecnica finalizzata a garantire il recupero della funzionalità ecologica nei corsi d’acqua con derivazioni, il criterio di salvaguardia dei tratti di lunghezza commisurata all’impatto indotto dalle derivazioni. L’art. 6 delle Norme di Attuazione del Piano definisce i limiti alla densità massima ammissibile di derivazioni. Il tratto di alveo, di lunghezza pari alla distanza D tra l’opera di presa e la restituzione, posto a valle del punto di restituzione delle acque di una derivazione ad uso non irriguo deve restare, di norma, esente da derivazioni. Lo stesso criterio deve risultare rispettato anche per nuove derivazioni da realizzare a monte di una esistente. Qualora una delle due derivazioni abbia una portata massima derivabile superiore a 5.000 l/s la lunghezza di tale tratto va posta pari al doppio della distanza D tra l’opera di presa e la sua restituzione.

In deroga, in tale tratto, può essere ammessa la presenza di una derivazione se la superficie cumulativa del bacino degli affluenti che si immettono nel tratto compreso tra il punto di restituzione della derivazione posta a monte e la presa della derivazione successiva abbia un’estensione pari ad almeno la metà della superficie del bacino sotteso al punto di restituzione della derivazione posta a monte e purché tali affluenti non siano interessati da derivazioni che trasferiscono le acque ad altri sottobacini, senza restituirle allo stesso corso d’acqua.

Un altro criterio definito nel Piano Stralcio del Magra è la definizione di tratti indisponibili per nuove derivazioni. L’art. 5 delle Norme di Attuazione del Piano vieta il rilascio di concessioni per nuove derivazioni nei tratti montani del corso principale del Magra, del Vara e dei principali affluenti per salvaguardare l’intrinseco valore naturalistico e per le ripercussioni da essi esercitati sulla funzionalità ecologica dei tratti fluviali posti più a valle.

A tali tratti indisponibili sono stati aggiunti i corsi d’acqua compresi nei Siti di Interesse Comunitario (SIC) e Regionale (SIR).

2.6.2 Progetto di Piano di Bacino – Stralcio “Bilancio idrico” del fiume Arno

L’Autorità di Bacino del fiume Arno nello Stralcio “Bilancio idrico” definisce la criticità quantitativa facendo specifico riferimento al periodo più problematico che, per l’Arno e i suoi affluenti, essendo caratterizzati da un regime fortemente torrentizio, è quello estivo. Inoltre tali criticità sono amplificate dal sistema dei prelievi per uso irriguo (concentrati tra giugno e settembre) oltre, naturalmente, ai prelievi costanti nell’anno.

Le criticità (deficit idrico) vengono quindi definite, in base alle curve di durata dei quattro mesi estivi, nel seguente modo:

| Classe di criticità | Deficit idrico | N. giorni in cui la portata è inferiore al DMV |
|---------------------|----------------|--|
| C4 | Molto elevato | > 60 gg |
| C3 | Elevato | 30 ÷ 60 gg |
| C2 | Medio | 1 ÷ 30 gg |
| C1 | Nulla | 0 gg |

Tabella 1. Classi di criticità superficiale del Piano di Bacino dell’Arno.

Il DMV è definito attraverso la portata $Q_{7,2}$ “naturale” ossia la portata media su sette giorni consecutivi con tempo di ritorno di due anni, ottenuta con tecniche di regionalizzazione di serie storiche di deflussi adeguatamente depurate dai prelievi.

La criticità è stata calcolata per le 44 sezioni significative del reticolo idrografico superficiale in cui è stato effettuato il bilancio ed estesa negli interbacini compresi tra sezioni significative consecutive: ad ogni interbacino è stata assegnata la criticità risultante nella sezione di chiusura.

Agli artt. 20-21-22-23 sono definite le limitazioni alle concessioni di derivazione.

Negli interbacini a deficit idrico molto elevato (C4) sono vietati nuovi prelievi e la revisione delle concessioni e attingimenti in atto con riferimento al periodo estivo.

Negli interbacini a deficit idrico elevato (C3) sono consentiti nuovi prelievi nei seguenti casi:

- nuove concessioni ad uso idropotabile, laddove non sia possibile una localizzazione alternativa, da rilasciare sulla base di uno studio comprovante gli effetti del prelievo sul reticolo di valle e la sostenibilità dello stesso in relazione ai valori di DMV;
- nuove concessioni per usi diversi da quello idropotabile sulla base di uno studio comprovante gli effetti del prelievo sul reticolo di valle, anche in relazione al DMV, e a condizione che sia dimostrata l’essenzialità dell’uso, la mancanza di fonti alternative di approvvigionamento, l’efficienza dell’utilizzo nonché le misure di risparmio e riutilizzo adottate.

2.6.3 Piano di Tutela e Uso delle Acque della Regione Valle d’Aosta

La Regione Valle d’Aosta nel Piano di Tutela e Uso delle Acque per definire la criticità quantitativa dei corsi d’acqua ha valutato il bilancio idrico in 77 sottobacini e ha calcolato il rapporto percentuale fra il volume medio annuo utilizzato e il volume naturale netto. Tale rapporto è stato calcolato per gli usi irrigui, idroelettrici e per la somma dei due usi ottenendo il grado di sfruttamento dovuti agli utilizzi irrigui, idroelettrici e globali. Le percentuali ottenute sono state suddivise in quattro classi: da 100% a 75%, da 75% a 50%, da 50% a 30% e da 30% a 0%.

Inoltre il Piano di Tutela definisce altri indicatori sintetici riportati nella seguente tabella:

| Indicatore sintetico | Sub-indicatori | Informazioni utilizzate |
|---|--|---|
| Qualità ecosistemica dei corsi d'acqua | <p>qualità delle rive (rarietà/ specificità + vulnerabilità specie e habitat)</p> <p>qualità delle acque (IBE + distribuzione delle popolazioni ittiche)</p> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ vegetazione riparia ▪ qualità acque (ARPA) ▪ distribuzione delle popolazioni ittiche |
| Pressioni sui corsi d'acqua | <p>pressione puntuale</p> <p>pressione antropica diffusa (insediamenti, urbani, industriali e agricoli, tipologie di SAU)</p> <p>pressione derivante da modificazione dell'alveo</p> | <ul style="list-style-type: none"> ▪ usi del suolo interferenti in buffer ▪ opere idrauliche: arginature, briglie, dighe ▪ scarichi, captazioni ▪ vegetazione riparia |
| Valutazione delle condizioni ambientali | | <ul style="list-style-type: none"> ▪ elaborazione degli indicatori precedenti |
| Livello di sfruttamento delle acque | | <ul style="list-style-type: none"> ▪ volumi di acqua derivata ▪ volumi di acqua disponibili |

Tabella 2. Indicatori sintetici delle condizioni dei corsi d'acqua in Valle d'Aosta.

Di particolare interesse è la valutazione delle pressioni sui corsi d'acqua che è stata descritta con tre indicatori diversi: pressione puntuale, pressione diffusa e modificazione dell'alveo.

L'indicatore di pressione puntuale considera il numero delle derivazioni e dei rilasci di inquinamento assegnando ad ogni tipologia un coefficiente di pressione puntuale.

Tuttavia, è da osservare che con tale metodo il prelievo o lo scarico ha influenza nella valutazione della pressione esclusivamente nel tratto elementare della discretizzazione scelta in cui ricade e non nei tratti successivi.

L'indicatore di pressione diffusa valuta l'inquinamento dovuto all'uso del suolo.

L'indicatore di pressione dovuta alle trasformazioni dell'alveo, a causa delle opere di difesa spondale e di briglie e sbarramenti, è valutato attraverso l'intensità della trasformazione a partire dalla lunghezze delle opere.

3. LE RISORSE IDRICHE NATURALI DEL TERRITORIO PROVINCIALE

3.1 PREMESSA

L'impatto delle derivazioni idriche esistenti o già concesse, nonché di quelle richieste, sul regime idrologico delle risorse idriche è nella Provincia di Sondrio assai rilevante, segnatamente per uso idroelettrico¹, come già messo in luce dai precedenti studi condotti dall'Autorità di Bacino del F. Po, dal PTUA (Programma di Tutela ed Uso delle Acque) della Regione Lombardia e dalla stessa Provincia di Sondrio.

Nell'ambito dell'integrazione del PTCP è stato deliberato di procedere all'elaborazione del Piano di Bilancio Idrico (PBI) della Provincia di Sondrio, cui si riferisce il presente studio, il cui scopo precipuo è quello di valutare le condizioni di criticità presenti nel reticolo idrografico superficiale e negli acquiferi sotterranei, onde giungere ad una rappresentazione distribuita e dettagliata del rischio di mancato raggiungimento degli obiettivi di qualità di cui agli art. 76 e 77 del D. Lgs. 152/2006 e desumere da ciò le misure di piano atte a ridurre tale rischio o comunque ad evitarne l'aggravamento.

La ricostruzione del regime idrologico naturale, che rappresenta il passo fondamentale per valutare l'impatto quali-quantitativo delle derivazioni e delle restituzioni antropiche, deve purtroppo basarsi su dati idrologici assai scarsi e relativi al solo reticolo principale. Sono infatti disponibili solo cinque stazioni idrometriche per l'intero territorio provinciale dotate di significative serie di misure di portata giornaliera (periodo di osservazione dell'ordine di almeno 10 anni): Adda a Tirano, Adda a Fuentes, Mallero a Curlo, Roasco a Eita in Val Grosina, Venina a serbatoio Venina; inoltre è da osservare che tali cinque stazioni sono tutte ubicate nel bacino dell'Adda in Valtellina, mentre è totalmente privo di stazioni il bacino del Mera in Val Chiavenna. Altre stazioni idrometriche (Adda a Morbegno, Adda a Le Prese, Adda ad Aquilone, Adda a Cepina, Frodolfo a Presa Frodolfo, Mallero a Chiesa, Mallero a Sondrio, Mallero a Spriana, Mallero a Torre S. Maria, Viola a Prese Viola, Laterna a Ganda di Lanzada) dispongono delle sole registrazioni di tirante idrico essendo prive di scale di portata utili per correlare i tiranti alle portate.

È anche da aggiungere che le serie disponibili di portata derivano da registrazioni in massima parte riferibili a regimi già alterati dalle derivazioni e restituzioni antropiche (salvo pochi anni di registrazione antecedenti alla costruzione dei serbatoi artificiali avvenuta nella prima parte del secolo scorso) e quindi non direttamente utilizzabili per la valutazione del regime naturale delle risorse idriche.

Inoltre i dati conoscitivi relativi all'esercizio delle concessioni in atto solo sporadicamente forniscono informazioni utili sulla reale disponibilità naturale di risorsa idrica; ciò è legato sia al fatto che le portate nominali di concessione derivano da originarie valutazioni spesso a carattere sintetico, sia dall'obiettiva complessità delle situazioni in atto, caratterizzate da un rilevante intreccio di derivazioni e restituzioni in serie e in parallelo, sovente con significativi scambi idrici tra bacini differenti.

¹ Il territorio della provincia di Sondrio ospita infatti numerosi impianti di produzione di energia elettrica, quasi esclusivamente di natura idroelettrica, che complessivamente presentano una potenza installata pari a circa 2.174 MW (corrispondenti a circa il 12% dell'intero parco centrali installato in Lombardia, valore che si eleva al 18% se si considera la sola potenza idroelettrica installata). Il parco centrali così configurato ha prodotto, nel 2005, in termini di energia elettrica lorda, oltre 3.600 GWh, ossia circa il 6% della produzione complessiva regionale e quasi il 40% della produzione idroelettrica lombarda.

In tale situazione la difficile ricostruzione dei regimi naturali delle acque superficiali e sotterranee deve affidarsi alle metodologie dell'idrologia, in particolare a quelle che coniugano l'analisi dei pochi dati idrologici disponibili con l'interpretazione dei fenomeni idrogeologici che attengono alla formazione delle risorse idriche. Infatti una ricostruzione basata solo sulle metodologie dell'idrologia statistica non potrebbe in alcun caso superare la carenza di informazione insita nei pochi dati disponibili; così, simmetricamente, una interpretazione solo di tipo naturalistico delle fenomenologie che governano la formazione delle risorse idriche rimarrebbe confinata ad una conoscenza di tipo qualitativo, certamente fondamentale ma non sufficiente per la pianificazione in oggetto.

È da ricordare che anche in occasione degli studi a base del PTUA regionale venne adottata una metodologia che, sulla base delle serie idrometriche disponibili, ricostruiva le portate naturali medie annue in altre sezioni del reticolo attraverso una procedura di riscalfatura regionalizzata legata alle precipitazioni piovose e nevose medie annue. Concettualmente, quindi, tale metodo univa l'informazione desunta dai dati idrometrici disponibili con le informazioni sull'apporto idrico atmosferico. La metodologia regionale si basa, in altre parole, su uno schema di modello afflussi-deflussi assai semplificato, dal momento che un modello più completo (che pure venne indicato come preferibile nel documento metodologico del PTUA) non avrebbe avuto alcuna possibilità di applicazione in assenza di dati idrologici più consistenti e più distribuiti sull'intero reticolo idrografico. È anche da ricordare che la stessa Regione Lombardia nella recente "Direttiva per l'adeguamento delle derivazioni al rilascio del Deflusso Minimo Vitale", febbraio 2008, ha tuttora indicato tale metodologia come quella da adottare ai fini della determinazione del Deflusso Minimo Vitale.

In sintesi lo schema di lavoro su cui si basa la metodologia del PTUA è il seguente: noto o ricostruito il contributo specifico medio annuo naturale q_M (in $m^3/s/km^2$) nelle sezioni monitorate M , il contributo specifico medio annuo naturale q_S nelle altre sezioni di interesse S viene calcolato in funzione del rapporto P_S/P_M tra le precipitazioni totali (piovose + nevose) medie annue ragguagliate ai bacini rispettivamente sottesi dalle sezioni M e S . Si riportano qui di seguito (v. Figura 1) gli schemi indicati nella metodologia PTUA relativamente ai casi in cui la sezione di calcolo S si trovi a monte di una sola sezione monitorata M o intermedia tra due sezioni monitorate M_1 e M_2 e nei casi in cui essa sia ubicata sull'asta principale e su un affluente.

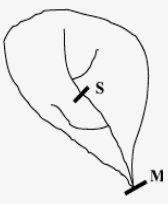
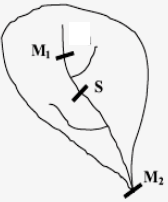
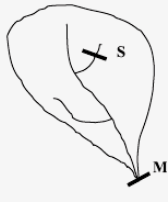
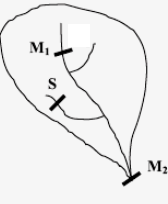
| | Schematizzazione | Formule di regionalizzazione per la stima dei contributi unitari medi |
|---|---|---|
| 1 |  | $q_S = q_M \cdot \frac{P_S}{P_M}$ |
| 2 |  | $q_S = q_{M1} \cdot \frac{A_{M1}}{A_S} + \frac{q_{M2} \cdot A_{M2} - q_{M1} \cdot A_{M1}}{A_S} \cdot \frac{P_S \cdot A_S - P_{M1} \cdot A_{M1}}{P_{M2} \cdot A_{M2} - P_{M1} \cdot A_{M1}}$ |
| 3 |  | $q_S = q_M \cdot \frac{P_S}{P_M}$ |
| 4 |  | $q_S = \frac{q_{M2} \cdot A_{M2} - q_{M1} \cdot A_{M1}}{P_{M2} \cdot A_{M2} - P_{M1} \cdot A_{M1}} \cdot P_S$ |

Figura 14. Metodologia di regionalizzazione del PTUA della Regione Lombardia per la determinazione del contributo specifico medio annuo naturale q_S nelle sezioni di interesse S a partire dal contributo specifico medio annuo naturale q_M noto nelle sezioni monitorate.

Per la Valtellina, utilizzando tale metodologia e basandosi sulle cinque sezioni monitorate già citate di Adda a Tirano, Adda a Fuentes, Mallero a Curlo, Roasco a Eita in Val Grosina, Venina a serbatoio Venina, il PTUA ha valutato le portate medie annue nelle sezioni di calcolo Adda a Sondalo, Adda a Villa di Tirano, Mallero a Sondrio, Adda a Caiolo, Adda a Ardenno (v. Figura 15). I regimi delle portate naturali medie mensili nelle sezioni di calcolo sono poi stati ricostruiti a partire dagli analoghi valori noti nelle sezioni monitorate (v. Figura 15). È da osservare che per la Val Chiavenna non sussistono né sezioni monitorate né sezioni di calcolo del PTUA.

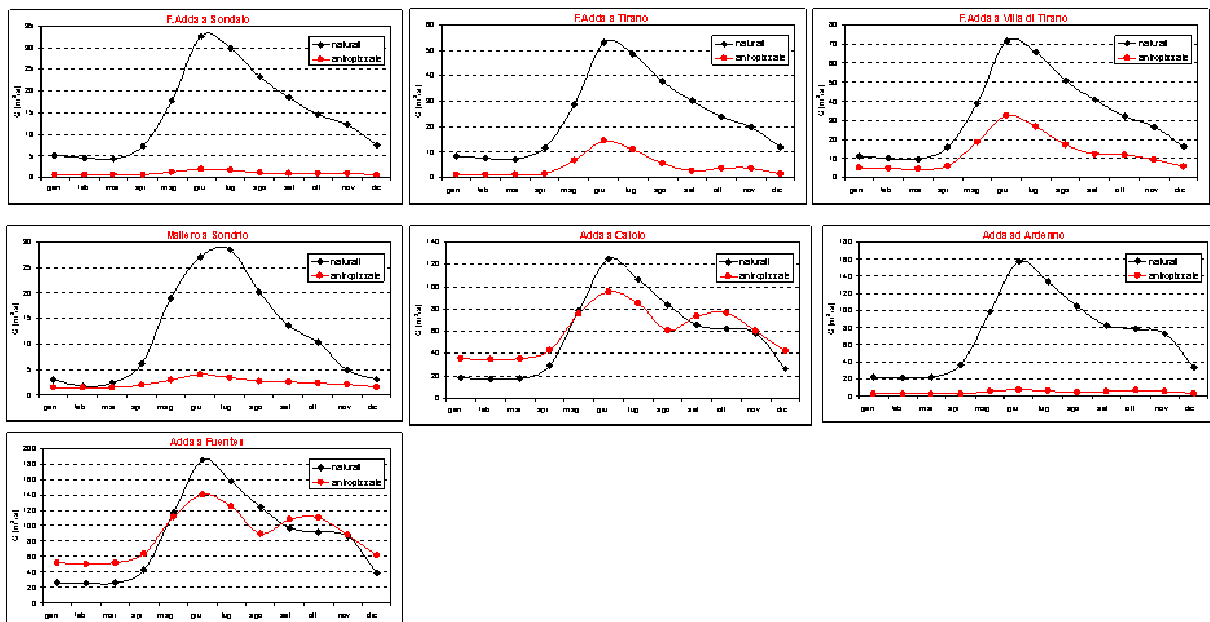
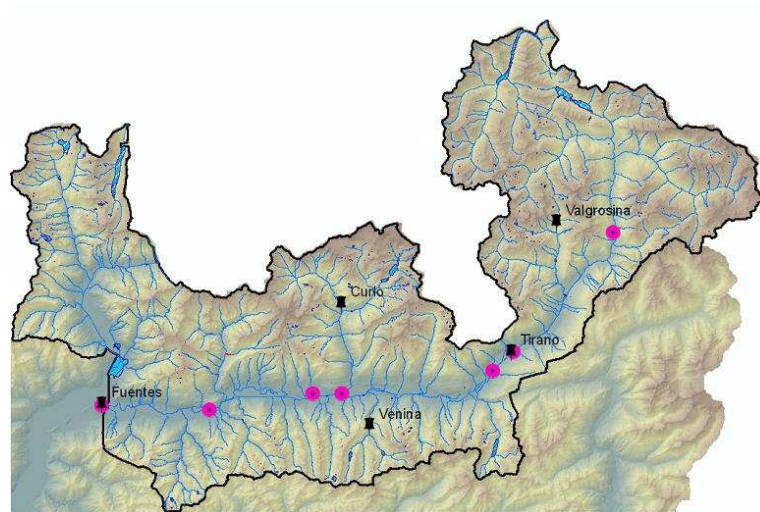


Figura 15. Ricostruzioni del PTUA degli andamenti delle portate medie mensili naturali e antropizzate per le sezioni monitorate e di calcolo della Valtellina.

Ciò premesso, ai fini della determinazione nella presente pianificazione del bilancio idrico delle risorse idriche nella Provincia di Sondrio, che deve necessariamente estendersi all'intero reticolo dal momento che occorre valutare le situazioni di antropizzazione e criticità determinate da una molteplicità di derivazioni presenti sia nei tratti montani che in quelli vallivi, si è ritenuto di appoggiarsi alla suddetta procedura regionale, integrata peraltro con un'attenta analisi distribuita dell'interscambio idrico tra risorse idriche superficiali e sotterranee.

La necessità di tale integrazione deriva dalle seguenti considerazioni:

1. i deflussi fluviali possono, come sempre, ritenersi composti da due componenti: il deflusso di base (Base Flow) derivante dall'alimentazione al corso d'acqua proveniente dalle falde e dalle sorgenti (componente lenta) e cioè dai circuiti sotterranei attraverso cui le infiltrazioni innescate dalle precipitazioni affluiscono sulle

aree permeabili del bacino alimentano i deflussi sotterranei fino alle riemergenze superficiali; il deflusso superficiale (componente veloce) derivante dagli scorrimenti superficiali alimentati dalle precipitazioni rimaste in superficie, al netto dell'evapotraspirazione e dell'infiltrazione. Attraverso consolidate metodologie di analisi idrologica delle serie idrometriche registrate è possibile separare le due componenti e quindi valutare nelle sezioni considerate il rapporto tra il volume medio annuo di deflusso di base e il volume medio annuo del deflusso totale; tale rapporto è definito Indice del Deflusso di Base (BFI = Base Flow Index). Ne consegue che per tutte e cinque le prima citate sezioni monitorate del bacino prelacuale dell'Adda è stato possibile calcolare il corrispondente BFI;

2. come già esposto, la mera applicazione della metodologia del PTUA regionale conduce ad estrapolare la portata media annua naturale nota nella sezione monitorata ad altre sezioni del reticolo, solo tenendo conto della riscalatura in funzione delle precipitazioni. Ciò equivarrebbe ad ammettere un'omogeneità sull'intero territorio della proporzione tra i citati meccanismi che alimentano le due componenti superficiale e sotterranea. In altre parole, ciò equivarrebbe ad ammettere che il BFI si mantenesse pressoché costante su tutto il reticolo. Nelle stime del PTUA regionale tale approssimazione è stata considerata ammissibile, in quanto esse sono state effettuate solo per poche sezioni (tenendo necessariamente conto della scala regionale del Piano) per lo più ubicate lungo le aste principali dei corsi d'acqua della Lombardia. Ma, alla scala del presente Piano provinciale e nella necessità di stimare le portate per tutto il reticolo anche nelle sue parti più montane, la detta approssimazione non appare accettabile;
3. la stima delle portate medie annue per l'intero reticolo deve pertanto tener conto della differente proporzione tra le due citate componenti derivante dalle differenti caratteristiche idrogeologiche presenti nei sottobacini oggetto di indagine (il BFI è cioè differente da sottobacino a sottobacino). Si è pertanto ritenuto necessario integrare la metodologia regionale con la stima della componente di base e quindi della "correzione" positiva o negativa legata all'interscambio tra i deflussi superficiali e sotterranei;
4. la stima del deflusso di base per ogni sottobacino consente anche di avere un'informazione accettabile sulle portate fluviali presenti in alveo nei periodi di prolungata assenza di precipitazioni piovose e nevose e cioè nei periodi di magra invernale e estiva, caratteristici del regime alpino del territorio provinciale. Infatti durante questi periodi il deflusso presente in alveo è solo quello derivante dalla componente sotterranea. Tale deflusso di base quindi costituisce una stima delle portate di magra, stima oltremodo preziosa, ai fini della valutazione delle criticità indotte dalle derivazioni e dagli scarichi, tenendo presente che non è conseguibile, a causa della più volte citata carenza di dati, una stima altrettanto distribuita delle curve di durata dei corsi d'acqua minori (v. cap. 4).

3.2 STIMA DISTRIBUITA DELLE PORTATE MEDIE ANNUE NATURALI NEL RETICOLO IDROGRAFICO

Sulla base dei concetti prima esposti, la procedura adottata nel presente piano per la stima delle portate medie annue "corrette" è composta dalle seguenti fasi:

1. determinazione del reticolo idrografico di riferimento e relativa informatizzazione;

2. applicazione della metodologia del PTUA regionale sul reticolo idrografico prima citato con corrispondente stima delle portate medie annue “non corrette”;
3. valutazione distribuita dei fenomeni di infiltrazione e risorgenza;
4. stima delle portate medie annue di interscambio tra deflussi superficiali e sotterranei;
5. stima delle portate medie annue “corrette”.

3.2.1 Determinazione del reticolo idrografico di riferimento e relativa informatizzazione

È stato adottato il reticolo idrografico e corrispondente bacinizzazione SIBCA (Sistema Informatico Bacini e Corsi d’Acqua) della Regione Lombardia (v. Figura 16). La banca dati SIBCA permette di calcolare numerosi parametri morfologici e idrologici, per ogni bacino idrografico alpino con area superiore ad una soglia prefissata (1 km^2). I tratti elementari costituenti il reticolo sono lunghi in media circa 1000 m. Si tratta quindi di un’informatizzazione molto spinta del reticolo idrografico.

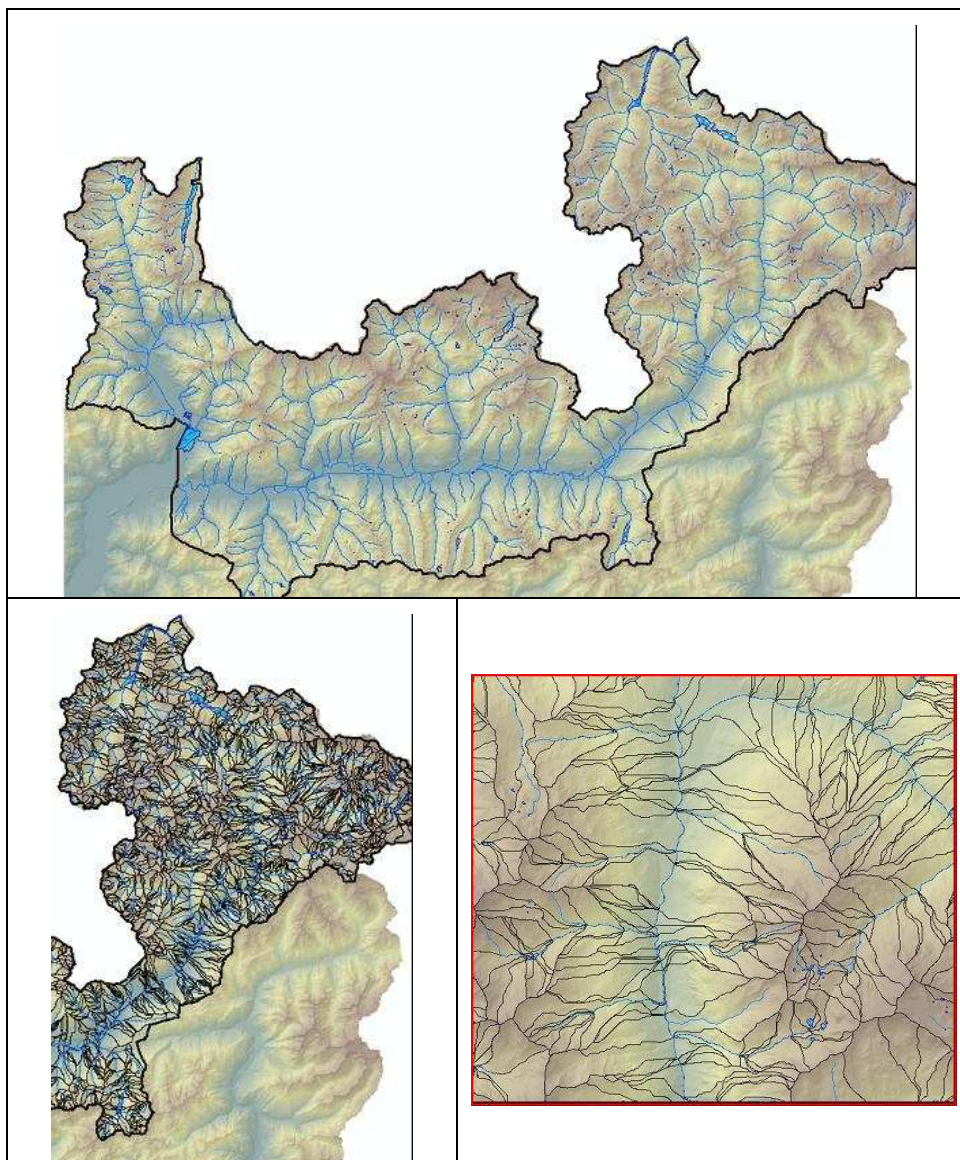


Figura 16. Il reticolo idrografico della bacinizzazione SIBCA della Regione Lombardia.

Inoltre tale informatizzazione è anche “gerarchizzata” nel senso che, adottato l’ordinamento gerarchico di Horton – Stralher del reticolo, di ogni tratto del reticolo è nota la classe gerarchica e sono quindi anche individuabili per via informatica le caratteristiche dell’intero bacino sotteso da ogni sezione fluviale.

3.2.2 Applicazione della metodologia del PTUA regionale

Adottata la carta ufficiale della piovosità media annua (CPMA) predisposta dalla Regione Lombardia in occasione degli studi del PTUA regionale (v. Figura 17) e la tabella del contributo nivale integrativo riportata nella metodologia del PTUA stesso (v. Tabella 3), sono state calcolate le precipitazioni totali (piovose + nevose) ragguagliate in ciascuno dei sottobacini della bacinizzazione SIBCA.

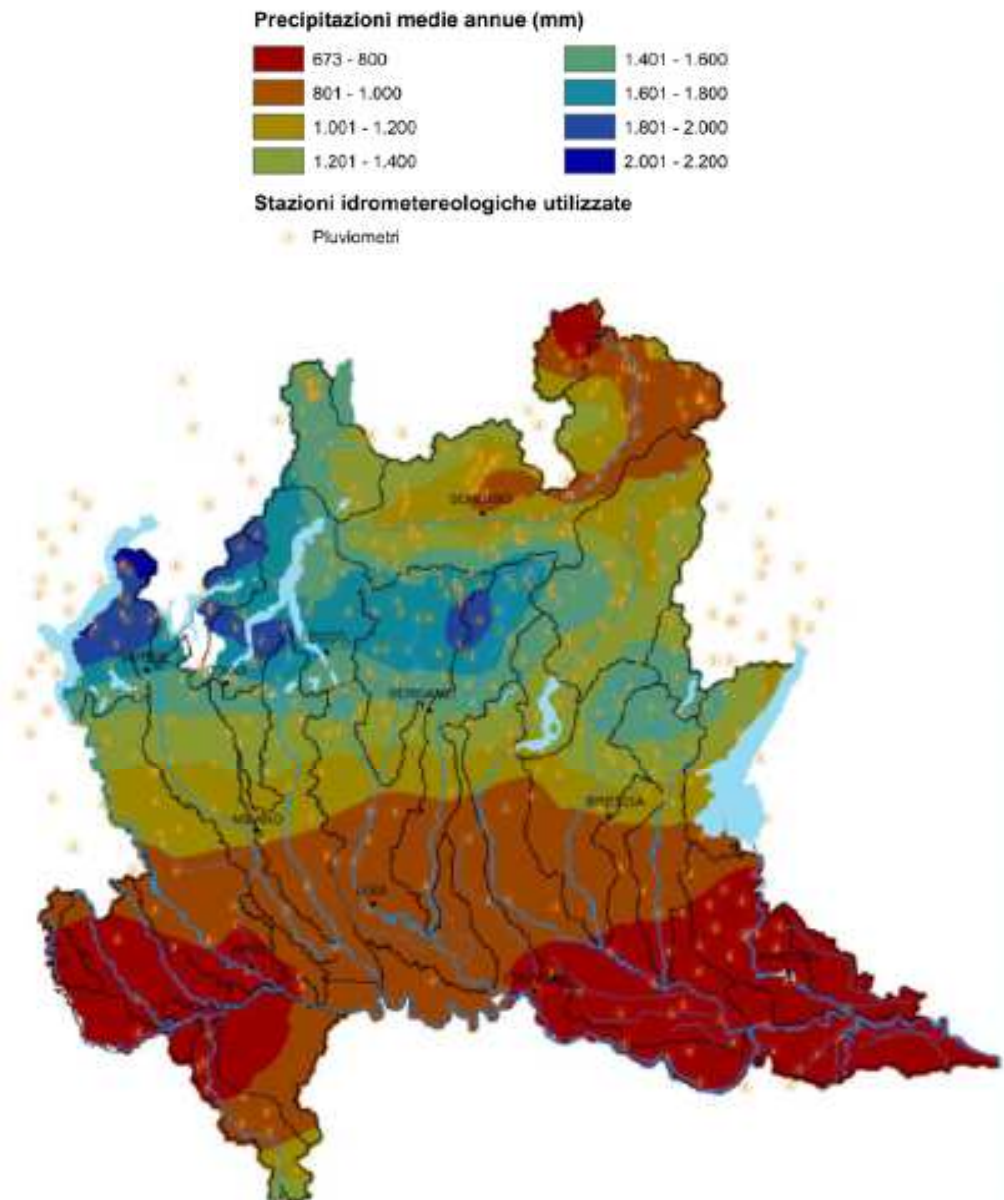


Figura 17. Carta della piovosità media annua (mm/anno) della Regione Lombardia (PTUA).

| Bacino | Sottobacino | Quota di riferimento [m.s.l.m.] | Componente nivale integrativa (S.W.E.) [mm] |
|--------------------|--------------------------|---------------------------------|---|
| Adda sopralacuale | Adda a Sondalo | 1000 | 255 |
| | Adda a Tirano | | 267 |
| | Adda a Villa di Tirano | | 273 |
| | Adda a Sondrio (Mallero) | | 304 |
| | Adda a Caiolo | | 258 |
| | Adda ad Ardenno | | 260 |
| | Adda a Fuentes | | 286 |
| Mera | Confluenza | 1300 | 435 |
| Brembo | Tutti i sottobacini | 1500 | 377 |
| Serio | Tutti i sottobacini | 1500 | 405 |
| Oglio sopralacuale | Oglio a Vezza d'Oglio | 1500 | 248 |
| | Oglio a Capo di Ponte | | 277 |
| | Oglio a Esine | | 281 |
| | Oglio a Costa Volpino | | 287 |
| Chiese | Tutti i sottobacini | 1400 | 181 |
| Mella | Tutti i sottobacini | 1400 | 181 |

Tabella 3 Componente nivale integrativa elaborata dal PTUA della Regione Lombardia.

La Figura 18 riporta la carta delle precipitazioni totali così ottenuta, sulla cui base e tenendo conto della gerarchizzazione del reticolo è poi stato possibile ricostruire informaticamente le precipitazioni ragguagliate per tutti i bacini sottesi da tutti i rami del reticolo idrografico. Il sistema informatico così ottenuto consente quindi di ottenere, selezionato un qualsiasi tratto, il valore della precipitazione totale sul corrispondente bacino sotteso.

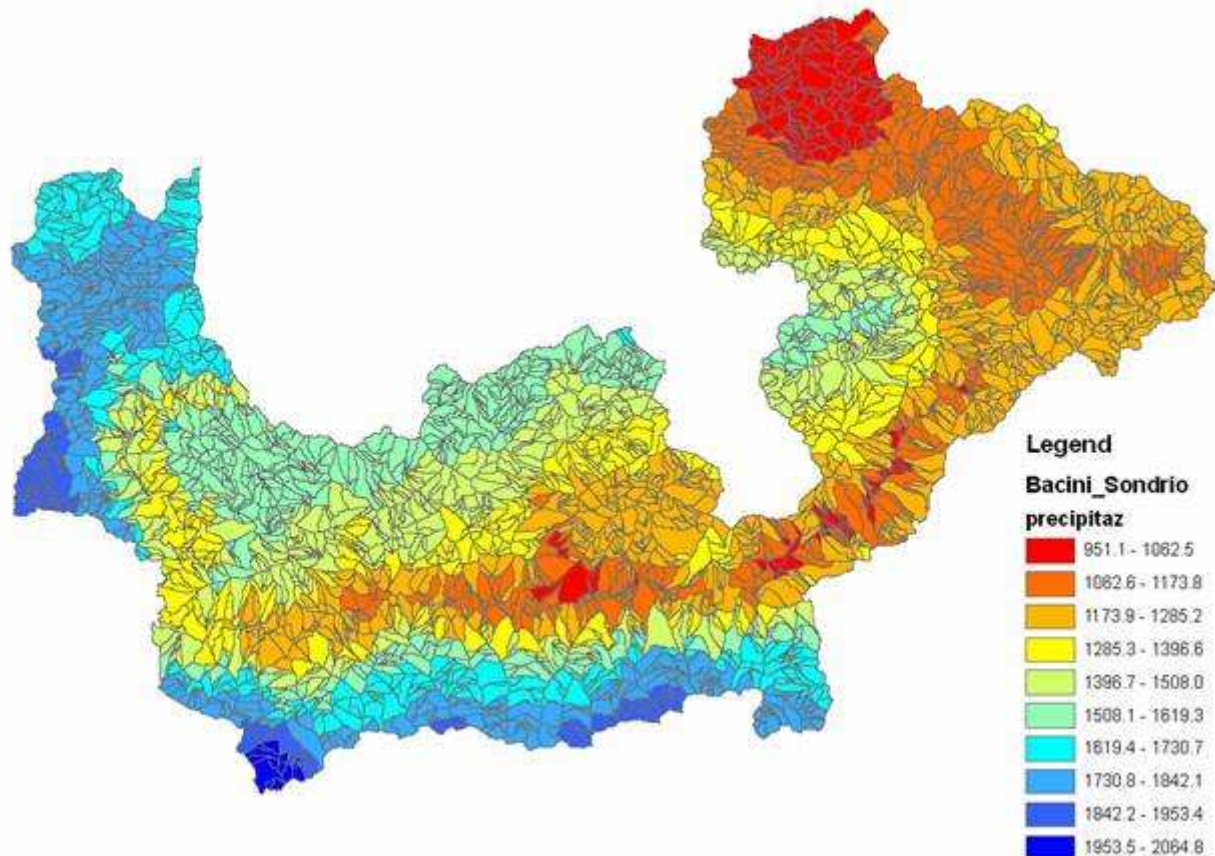


Figura 18. Carta delle precipitazioni totali (piovose + nevose) nei sottobacini SIBCA.

Infine, utilizzando la metodologia del PTUA precedentemente richiamata e cioè applicando con procedura informatica le formule di regionalizzazione indicate negli schemi di Figura 14 per tutti i rami del reticolo SIBCA, si sono ottenuti i valori dei contributi medi annui naturali (in $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$) e quindi i valori delle portate medie annue naturali “non corrette” (in m^3/s).

Delle cinque stazioni idrometriche disponibili (Adda a Tirano, Adda a Fuentes, Mallero a Curlo, Roasco a Eita in Val Grosina, Venina a serbatoio Venina) non è stato possibile utilizzare il dato del Venina per le difficoltà pratiche avute nel definire l’area del bacino afferente a tale sezione. E’ possibile infatti che il bacino di 20 km^2 indicato dal PTUA sia composto non solo dal bacino naturale (di circa 10 km^2) ma anche dai bacini chiusi dalle prese del canale di gronda che si immette nel serbatoio Venina.

La Figura 19 riporta il reticolo idrografico SIBCA con un graficismo di spessore proporzionale a tale valore della portata.

Anche in questo caso, il sistema informatico così ottenuto consente di ottenere, selezionato un qualsiasi tratto, il valore della portata media annua “non corretta” oltre a tutte le altre informazioni attinenti al corrispondente bacino sotteso.

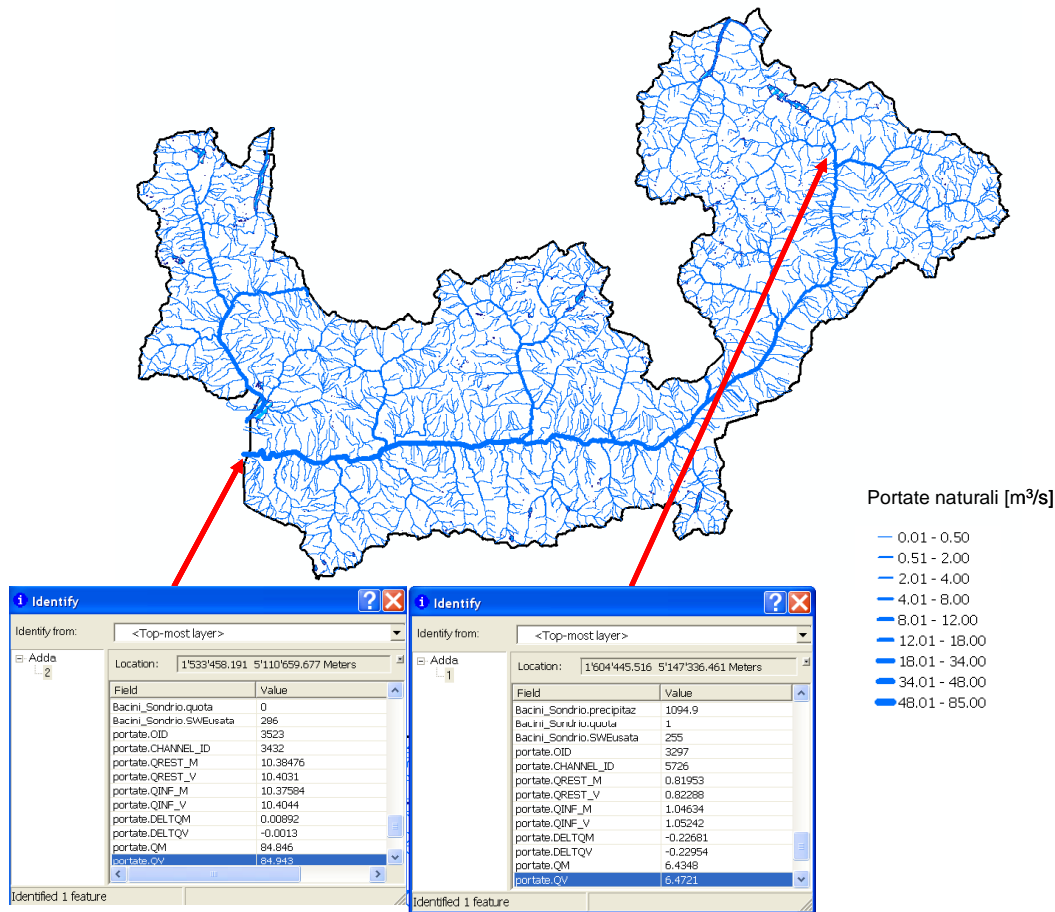


Figura 19. Carta delle portate medie annue naturali “non corrette” (in m³/s) e tabulati automatici dei dati caratteristici per ogni tratto del reticolo SIBCA.

I bacini idrografici dell’Adda e del Mera sono quasi totalmente all’interno del territorio della Provincia di Sondrio; fanno eccezione alcune porzioni del bacino del fiume Mera e della Val Poschiavo che si trovano in territorio Svizzero. I dati di partenza, ovvero la carta delle precipitazioni e la bacinizzazione SIBCA hanno il limite coincidente con il confine dello stato italiano, non comprendendo quindi i territori svizzeri di tali due valli. Non avendo a disposizione i dati necessari per la caratterizzazione topologica di tali due bacini, sono state effettuate delle semplificazioni per conoscere quantomeno le portate al confine Italiano, ovviamente necessarie per definire le portate a valle. La valutazione è stata riferita all’area complessiva di tali due bacini, chiusa alla sezione di confine, e considerando i rispettivi valori pluviometrici desunti dai dati riportati nel PTUA.

3.3 STIMA DISTRIBUITA DEI DEFLUSSI SOTTERRANEI E DELLE PORTATE MEDIE ANNUE NATURALI “CORRETTE”

Come già esposto in premessa, è stata eseguita l’analisi delle risorse idriche sotterranee allo scopo di:

1. mettere a punto una metodologia che consentisse di stimare, per grandi bacini omogenei, la ricarica dei “sistemi idrici” sotterranee, attraverso un modello semplificato di infiltrazione e restituzione delle acque di precipitazione;

2. definire le relazioni quantitative tra deflusso superficiale e sotterraneo, attraverso un termine correttivo delle portate superficiali;
3. stimare, sulla base delle modalità di restituzione delle diverse componenti dell'infiltrazione totale al deflusso idrico superficiale, la componente del deflusso di base, rappresentativa delle condizioni di magra dei corsi d'acqua;
4. stimare, noti i dati relativi alle utenze presenti sul territorio (catasto delle derivazioni di acque sotterranee: pozzi, sorgenti e relativi usi), il grado di utilizzazione della risorsa idrica sotterranea;
5. valutare il grado di antropizzazione delle portate superficiali dei corsi d'acqua, per effetto dei prelievi di acque sotterranee.

L'analisi è stata impostata a partire dalla "Carta della Permeabilità della Provincia di Sondrio" (Carte Geoambientali - Regione Lombardia), dalla quale sono state ricavate le aree "Altamente Permeabili (AP)", quelle "Mediamente Permeabili (MP)" e quelle "Impermeabili" (v. Figura 20).

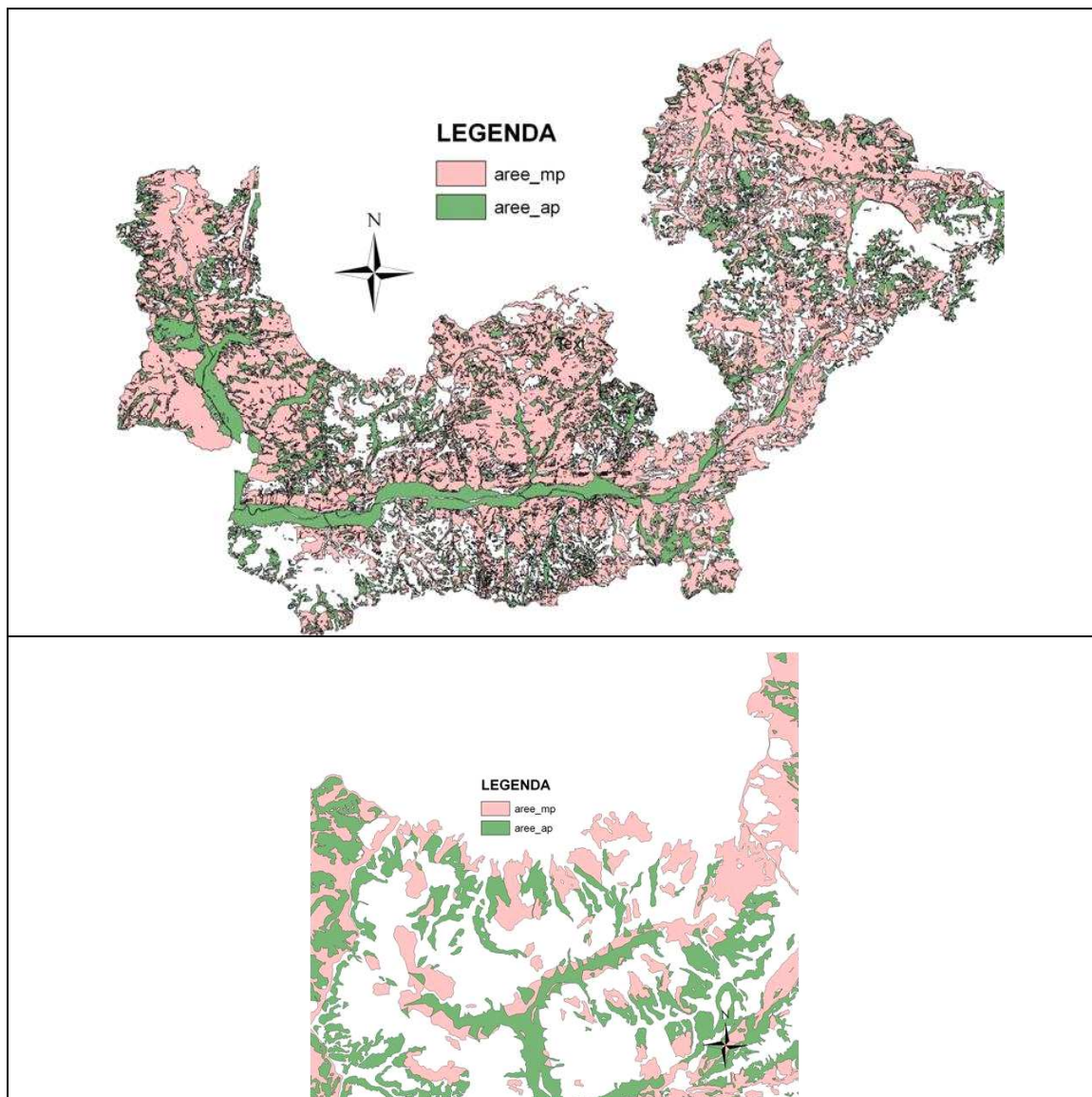


Figura 20. Carta della permeabilità derivata elaborata a partire dalla "Carta della Permeabilità della Provincia di Sondrio" (Carte Geoambientali - Regione Lombardia).

Le aree "MP" comprendono litofacies contraddistinte da un grado di permeabilità da medio a basso. A questa unità idrogeologica è stato assegnato un coefficiente di infiltrazione K_{MP} pari al 10% della precipitazione media annua totale. Le aree "AP" comprendono litofacies contraddistinte da un grado di permeabilità da elevato a molto elevato. A questa unità idrogeologica è stato assegnato un coefficiente di infiltrazione K_{AP} pari al 40% della precipitazione media annua totale.

I coefficienti di infiltrazione assegnati, come sopra definiti, esprimono l'infiltrazione efficace al netto delle perdite totali.

Sulla base della carta della permeabilità derivata è stato predisposto un modello idrogeologico in ambiente GIS, in cui è stato possibile definire la matrice dei poligoni di permeabilità. Il modello ha avuto come presupposto l'individuazione di cinque bacini omogenei principali (v. Figura 21): Mera monte, Mera valle, Adda monte, Adda valle, Spoel, a cui applicare il modello concettuale di bilancio. Infatti, il modello si basa sul presupposto che, su base media annua e in condizioni di regime stazionario (vale a dire in condizioni di equilibrio tra acque in ingresso e in uscita dal sistema idrogeologico), le acque di infiltrazione meteorica vengano totalmente restituite al deflusso superficiale naturale (vale a dire in assenza di captazioni e derivazioni) nella sezione di chiusura dei cinque bacini anzidetti, sia pure con modalità differenti: 1) deflusso ipodermico; 2) deflusso profondo. Il deflusso ipodermico esprime la frazione dell'infiltrazione totale che viene restituita in modo differito al deflusso superficiale, nell'ambito del bacino di infiltrazione, in modo relativamente diffuso. Il deflusso profondo è la frazione del deflusso totale che alimenta gli acquiferi profondi, che a loro volta alimentano le sorgenti (o la falda di fondovalle). Questa componente viene restituita al deflusso superficiale in modo differito, anche in sottobacini diversi.

Il modello di bilancio ha imposto, pertanto, la definizione dei criteri di restituzione del deflusso ipodermico e profondo. La somma dei due contributi, in ciascun bacino e sottobacino idrografico, costituisce il "deflusso di base medio annuo" del bacino stesso, rappresentativo della condizioni di magra più gravose, che per il territorio provinciale di Sondrio corrispondono a quelle invernali.

Il passaggio dalla carta della permeabilità derivata al modello idrogeologico strictu senso è consistito nella costruzione della matrice dei bacini elementari, costituenti ciascun bacino omogeneo, utilizzando la bacinizzazione SIBCA (v. Figura 16) e la carta delle precipitazioni totali (v. Figura 18).

Nella impostazione del modello idrogeologico sono state ammesse alcune ipotesi semplificative di alcune condizioni al contorno, di seguito riepilogate:

- la totalità delle acque di infiltrazione, al netto dell'infiltrazione di fondovalle, in condizioni di regime stazionario, viene restituita integralmente al deflusso superficiale attraverso il deflusso ipodermico e le manifestazioni sorgentizie;
- alla scala di analisi, per grandi bacini omogenei, si trascurano gli scambi in ingresso ed in uscita al "contorno" del territorio provinciale. Infatti, è stato verificato che l'errore introdotto da tale ipotesi semplificativa, alla scala di analisi, è del tutto trascurabile se confrontato con l'errore derivante dalle incertezze insite nella maggior parte dei dati di bilancio relativi, ad esempio, alle stime disponibili dei valori dei prelievi idrici dal sottosuolo. Inoltre, ad esempio per la porzione di bacino del Mera situata in territorio svizzero, non si dispone di dati idrogeologici omogenei.

Le limitazioni e le ipotesi semplificative sopra esposte potranno essere superate negli aggiornamenti futuri sulla base di un attento censimento delle manifestazioni sorgentizie e del monitoraggio delle relative portate (v. capitolo 9). Il monitoraggio, inoltre, consentirà di affinare il modello concettuale attraverso la definizione, nell'ambito dei bacini omogenei

considerati in prima approssimazione nel presente studio, di sottobacini idrogeologici che tengano conto anche degli scambi idrici sotterranei con le zone esterne alla Provincia di Sondrio.

L'incrocio della carta delle precipitazioni totali (nel cui database, per ciascun bacino elementare, è indicata la precipitazione totale media annua) con la carta della permeabilità derivata ha consentito di ottenere la matrice delle superfici di infiltrazione in ciascun bacino idrografico elementare. Note, per ciascun bacino idrografico elementare, le superfici di infiltrazione, i relativi coefficienti di infiltrazione e le precipitazioni medie annue, è stato possibile calcolare la portata di infiltrazione in ciascun bacino, espressa in l/s su base annua. Dividendo la portata di infiltrazione in ciascun bacino elementare per la relativa superficie, è stata calcolata la portata specifica di infiltrazione, in ciascun bacino, espressa in l/s/km², su base annua.

I risultati conseguiti sono riportati nella carta dell'infiltrazione specifica (v. Figura 21).

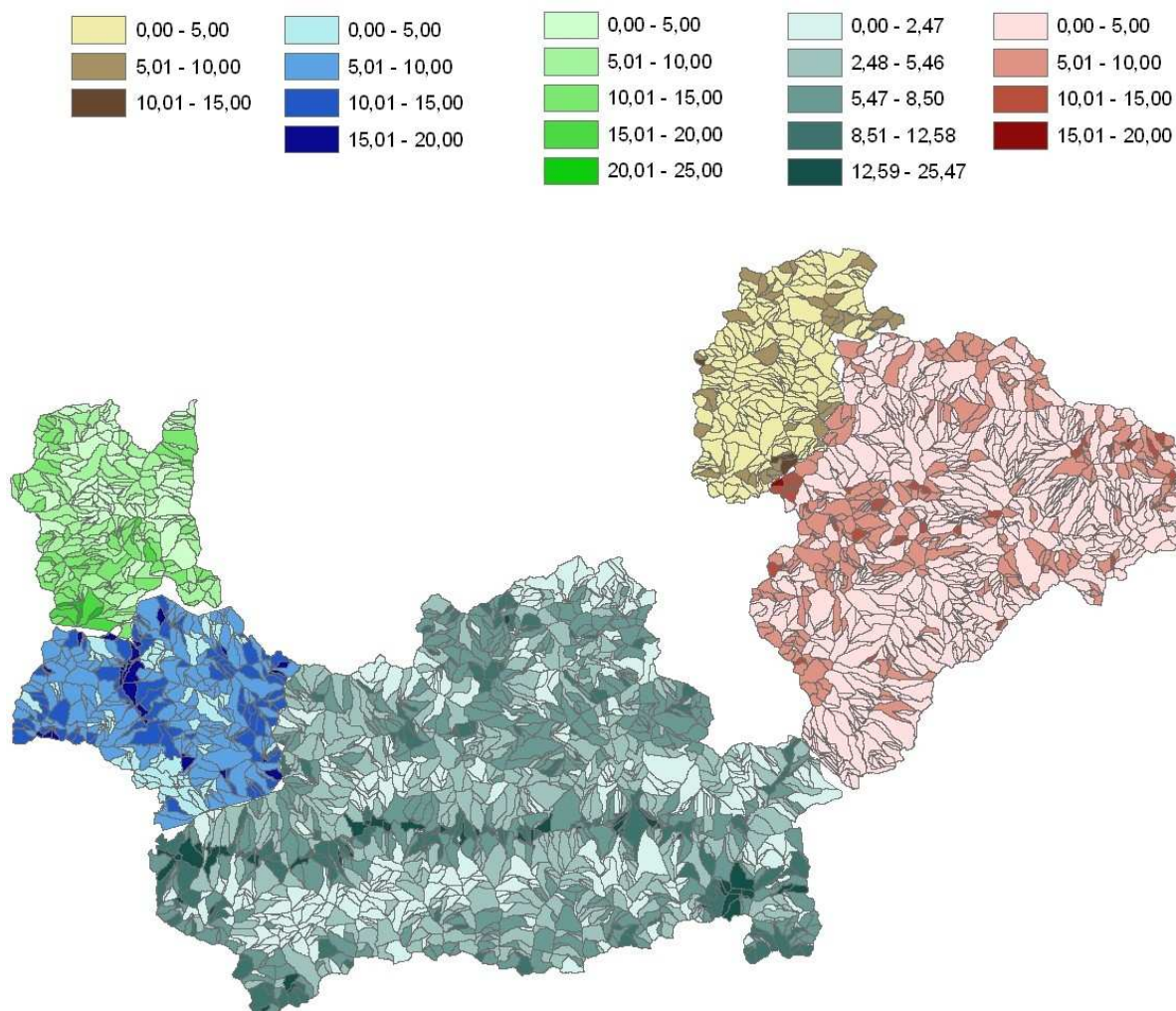


Figura 21. Carta dell'infiltrazione specifica media annua riferita alla bacinizzazione SIBCA (l/s/km²).

Ai fini della definizione delle aree di restituzione delle acque sotterranee al deflusso superficiale è stato utilizzato il censimento delle manifestazioni sorgentizie presenti nel territorio provinciale, ad oggi disponibile. È stato necessario considerare sia le sorgenti captate, oggetto di concessione alla derivazione, per i diversi usi (Catasto Utenze Idriche

Regionale), sia quelle non captate, censite e cartografate nelle “Carte Geoambientali”. Infatti, l’ubicazione delle sorgenti consente di calibrare il modello della circolazione idrica sotterranea in funzione delle aree di infiltrazione e delle zone di riemersione delle acque sotterranee. Per una migliore taratura del modello, è pertanto necessario utilizzare tutti i punti di ubicazione delle emergenze sorgentizie conosciuti e censiti. Va da sé che il grado di approssimazione del modello potrà essere migliorato, in futuro, sulla base di un nuovo ed il più possibile completo censimento dei dati caratteristici di tutte le manifestazioni sorgentizie (captate e non captate) presenti sul territorio provinciale.

Incrociando la carta della infiltrazione specifica con la carta della distribuzione planoaltimetrica delle sorgenti (v. successiva Figura 23) è stato possibile delimitare l’area di fondovalle alluvionale dell’Adda e del Mera, in cui le acque di infiltrazione alimentano direttamente la falda di fondovalle, in connessione diretta con il subalveo. Questa è stata graficamente definita tracciando la linea di involucro delle sorgenti situate a quota più bassa lungo versante; le superfici di infiltrazione situate a quota inferiore rispetto a tale linea, definiscono la zona di infiltrazione alimentante la falda di fondovalle (v. Figura 22).

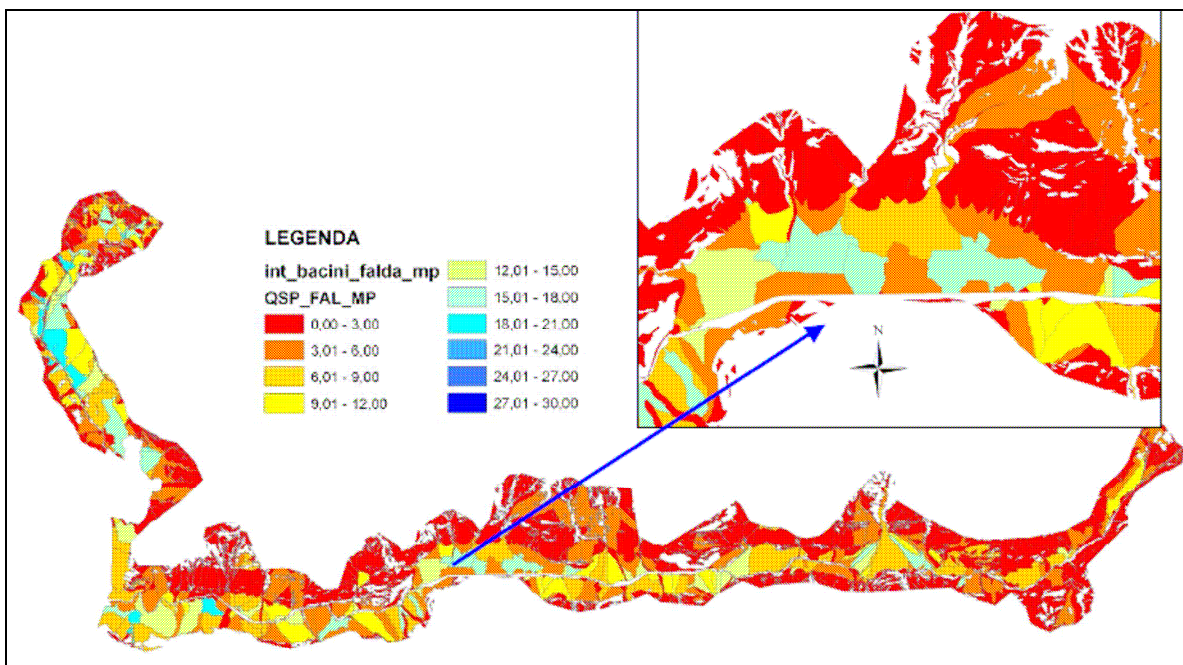


Figura 22 Carta delle superfici di infiltrazione alimentanti la falda di fondovalle.

Il modello di restituzione delle acque di infiltrazione è stato impostato definendo due coefficienti di restituzione, rappresentativi rispettivamente della restituzione ipodermica e profonda. La loro definizione è stata supportata, oltre che dalla bibliografia generale (Casadei, 1995; Manciola e al., 1994; Ubertini, 2004; Szilagyi e al., 2003; Abebe e al., 2006), anche da lavori relativi, nello specifico, ad esperienze pregresse sulla definizione dei criteri per il calcolo e la regionalizzazione dell’indice di deflusso di base (si veda, ad esempio, il lavoro eseguito dall’Autorità di Bacino del Fiume Arno: “Calcolo e regionalizzazione dell’Indice di Deflusso di Base (BFI)”, realizzato nell’ambito della “Modellistica idrologica per la gestione integrata delle risorse idriche del bacino dell’Arno e tutela dell’habitat fluviale in relazione al Deflusso Minimo Vitale – Appendice A).

In particolare i risultati degli studi pregressi indicano che il campo di variabilità del BFI, in funzione delle caratteristiche idrogeologiche del bacino, può essere adeguatamente descritto

riassumendo la permeabilità del bacino in tre grandi classi: aree a permeabilità bassa, in cui il BFI è minore del 35%; aree a permeabilità media, in cui il BFI è compreso tra 35% e 50%; aree a permeabilità elevata, in cui il BFI è maggiore del 50%. Tali valori evidenziano come il BFI sia proporzionale alla permeabilità del bacino. Infatti, dal punto di vista concettuale, tale risultato evidenzia che, a parità di condizioni (superficie filtrante, precipitazione media annua, ecc.), in aree altamente permeabili, oltre a verificarsi una infiltrazione totale più elevata, si manifesta anche una portata di base più elevata rispetto ai bacini dotati di un basso grado di permeabilità relativa. Ciò trova conferma nella constatazione che in natura, dal punto di vista idrogeologico, i circuiti sotterranei sono tanto più rapidi quanto più elevata è la permeabilità. È bene sottolineare che la schematizzazione del BFI in funzione del grado di permeabilità relativa sopra riportata è stata ricavata da studi eseguiti prevalentemente in ambiente appenninico, in cui è frequente la presenza di terreni stratificati o fliscoidi, ad elevata componente argillitico-marnosa, arenitica e calcarea, con grado di permeabilità relativo alquanto diversificato. In ambiente alpino e, nella fattispecie nel territorio provinciale di Sondrio, in cui le formazioni affioranti sono prevalentemente o di natura cristallina o detritiche (quaternarie), la schematizzazione del grado di permeabilità, ai fini della determinazione del BFI, è stata effettuata congruentemente con le classi di permeabilità adottate nella carta della permeabilità derivata: 1) aree Mediamente Permeabili (MP), comprensive delle formazioni da poco a mediamente permeabili; 2) aree Altamente Permeabili (AP), in cui sono state raggruppate le formazioni da permeabili ad altamente permeabili.

L'Indice di Deflusso di Base è stato quindi stimato sulla base delle portate restituite al deflusso superficiale come somma del deflusso ipodermico e profondo.

Nota l'infiltrazione efficace K in ciascun bacino elementare, è stato possibile, per tal via, definire i valori dei coefficienti sulla base dei quali ripartire l'infiltrazione totale tra la componente del deflusso ipodermico (Dip) e del deflusso profondo (Ddp).

Sulla base di quanto sopra, la schematizzazione delle modalità di restituzione dei due suddetti contributi dell'infiltrazione ha dovuto tenere conto delle seguenti considerazioni:

- corpi geologici caratterizzati da permeabilità elevata o molto elevata hanno una maggiore infiltrazione totale su base annua e circuiti con tempi di restituzione relativamente rapidi e diffusi (ad esempio, nelle zone carsiche, rappresentanti le zone altamente permeabili per antonomasia, il reticolo superficiale è scarsamente sviluppato, l'infiltrazione è molto elevata ma la restituzione è rapida e diffusa);
- corpi geologici relativamente meno permeabili hanno una infiltrazione totale minore delle precedenti e circuiti con tempi di restituzione relativamente lenti.

Va da sé che le zone classificate Altamente Permeabili contribuiscano in modo più deciso al deflusso di base rispetto a quelle scarsamente permeabili.

Sulla base delle sopra esposte considerazioni, sono stati utilizzati i seguenti coefficienti di "restituzione ipodermica": $I_{MP} = 0,35$ per le aree MP; $I_{AP} = 0,65$ per quelle AP.

Il modello di restituzione del volume di infiltrazione totale è stato impostato sulla base delle seguenti assunzioni:

1. restituzione di tipo "diffuso" per la componente ipodermica;
2. restituzione di tipo "puntuale" per la componente profonda.

La prima componente, nell'ambito del bacino elementare considerato, è proporzionale alla relativa superficie di infiltrazione e si calcola, per ciascun bacino elementare, moltiplicando l'infiltrazione totale per il rispettivo coefficiente di restituzione ipodermica (I_{MP} ed I_{AP}); la seconda è invece proporzionale alla presenza di sorgenti.

Il modello di ripartizione delle portate di infiltrazione profonda nelle zone di emergenza sorgentizia è stato impostato sulla base di un modello di distribuzione che consenta di considerare l'importanza relativa di ciascuna sorgente. Infatti, immaginando di equidistribuire la portata totale di infiltrazione di un dato bacino omogeneo tra i punti di emergenza sorgentizia, si commetterebbe l'errore di sovrastimare la portata in zone in cui più emergenze puntuali, molto ravvicinate, siano in realtà l'espressione della medesima zona di emergenza, dispersa per effetto, ad esempio, della presenza di estese coperture quaternarie. Per ovviare a tale problematica, è stato definito un buffer di 250 m di raggio intorno a ciascuna sorgente. Per le sorgenti la cui distanza sia minore o uguale a 500 m è stata definita la superficie di involuppo dei relativi buffers (v. Figura 23). La superficie involuppo dei buffers consente di "pesare" la ripartizione teorica della portata di infiltrazione profonda nei diversi punti di emergenza delle acque sotterranee, nell'ambito del bacino omogeneo considerato. Infatti, sulla base di considerazione idrogeologiche di carattere generale, sorgenti che distano tra di loro più di 500 metri possono essere considerate emergenze puntuali a tutti gli effetti. A ciascuna di esse compete la superficie di normalizzazione massima possibile attribuibile ad una sorgente, pari all'area del buffer con raggio di 250 metri. Invece, nel caso ad esempio di 3 sorgenti con distanza reciproca minore di 500 metri (buffers sovrapposti) e, per semplicità esemplificativa, equidistanti, la superficie teorica di normalizzazione di ciascuna sorgente è data da un terzo della superficie totale di involuppo dei relativi buffers.

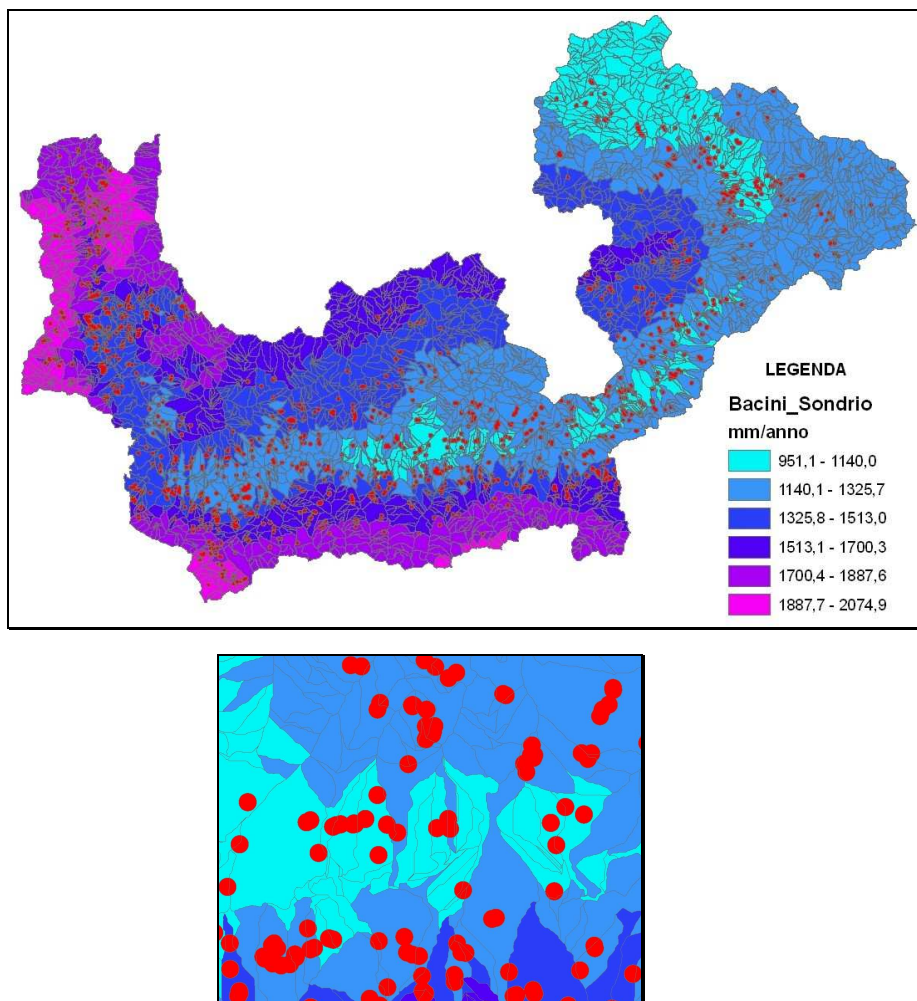


Figura 23. Carta dei buffers di involuppo delle sorgenti riferiti alla bacinizzazione SIBCA ($l/s/km^2$).

Una volta definiti i buffers e le relative superfici di inviluppo, l'incrocio di tali superfici con la carta della bacinizzazione SIBCA ha consentito di definire, per ciascun bacino elementare, le superfici dei buffers rappresentativi delle aree di restituzione delle acque sorgentizie in ciascun bacino elementare.

Nota la componente dell'infiltrazione profonda totale, data dalla sommatoria bacino per bacino dei prodotti tra l'infiltrazione totale e il Coefficiente di Infiltrazione Profonda, è stata calcolata la portata specifica di restituzione sorgentizie (rapporto tra infiltrazione profonda totale e area totale dei buffers). Il prodotto tra la portata specifica di restituzione sorgentizia e l'area dei buffers, bacino per bacino, ha fornito la stima della portata restituita dal deflusso profondo in ciascun bacino elementare. Questo valore è stato confrontato con i valori delle portate sorgentizie conosciute nell'ambito di ciascun sottobacino elementare. Tale operazione, che in alcuni casi ha comportato lievi riaggiustamenti iterativi dei valori di calcolo iniziale, ha costituito la fase di "taratura" del modello di restituzione.

Il rapporto tra questa grandezza e l'area del relativo bacino elementare ha in conclusione fornito la portata specifica di restituzione del deflusso profondo in ciascun bacino elementare.

Le operazioni sopra descritte hanno in sintesi consentito di ottenere, per ciascun bacino omogeneo e per ogni sottobacino elementare, il modello delle portate specifiche di restituzione del deflusso ipodermico e profondo.

Come già in precedenza descritto, il contributo restituito al deflusso superficiale dal deflusso ipodermico è stato determinato, per ciascun bacino elementare, dal prodotto tra la portata specifica di infiltrazione ed il Coefficiente di Infiltrazione Ipodermica.

In sintesi, le operazioni sopra descritte, hanno complessivamente fornito, per ciascun bacino elementare, i valori della portata specifica di infiltrazione totale, costituente un termine correttivo negativo del deflusso superficiale, calcolato con il metodo PTUA, e due valori di portata specifica di restituzione, rappresentativi rispettivamente del deflusso ipodermico e profondo. Questi due valori costituiscono termini correttivi positivi del deflusso idrico superficiale.

La Figura 24 mostra il reticolo SIBCA con i valori delle portate "di correzione" (negative, nei rami in cui i fenomeni di infiltrazione sottraggono portata, e positive, nei rami in cui le risorgenze apportano portate integrative) delle portate "non corrette" precedentemente esposte in Figura 19.

È stato così possibile ottenere (v. Figura 25) il valore delle portate superficiali "corrette" per ogni tratto del reticolo SIBCA.

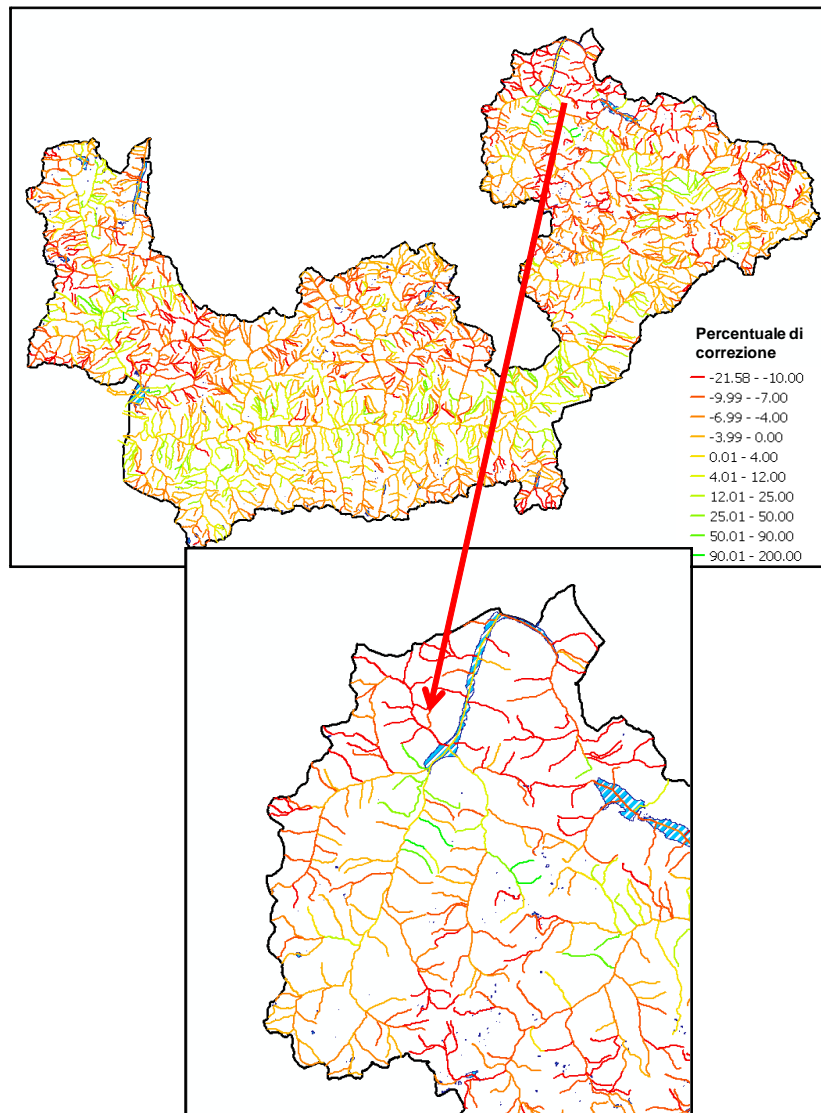


Figura 24. Carta delle percentuali di correzione dovute all'interscambio con i deflussi sotterranei, riferite alle portate "non corrette" nel reticolo di bacinizzazione SIBCA ($l/s/km^2$).

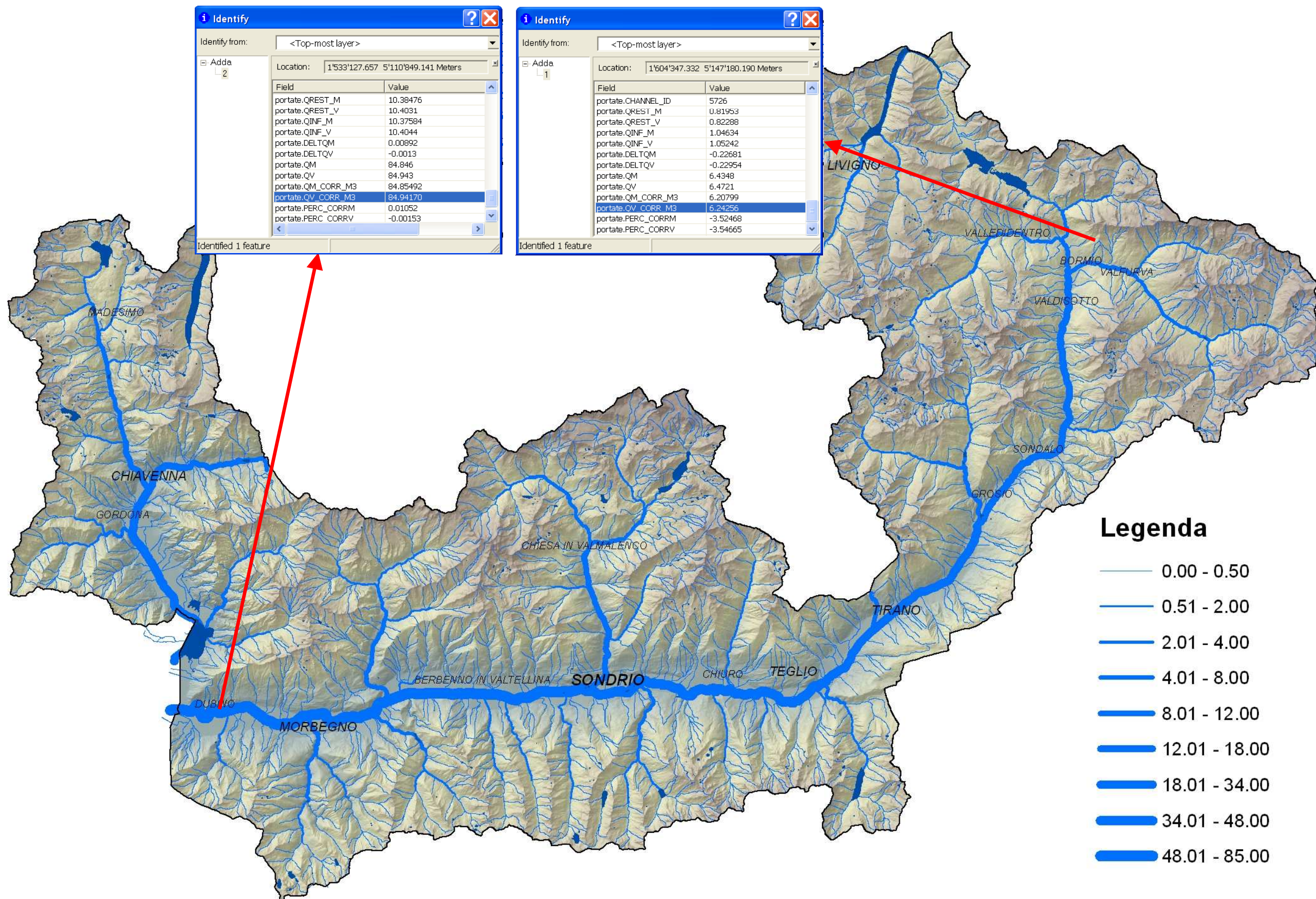


Figura 25. Portate medie annue naturali “corrette” con il valore dello scambio idrico con il sottosuolo (in m³/s).

3.4 CONFRONTO DELLE PORTATE MEDIE ANNUE NATURALI STIMATE DAL PRESENTE STUDIO CON LE PORTATE RICAVATE DA STUDI PRECEDENTI

Il confronto tra le portate medie annue naturali stimate nel presente studio (per brevità denominate PTCP '08) con le portate ricavate da studi precedenti consente di valutare l'attendibilità dei calcoli effettuati, sia pure nei limiti delle incertezze legate alle più volte richiamate carenze conoscitive.

In primo luogo sono state confrontate le portate “non corrette” stimate nel presente studio con le portate calcolate dal PTUA, ovviamente in corrispondenza delle sezioni di calcolo definite dal PTUA stesso (Tabella 4).

| | PTCP '08 | PTUA | Δ % |
|-------------------------------|----------|-------|-----|
| Adda Sondalo | 14.46 | 14.91 | -3 |
| Adda a Tirano | 24.19 | 24.17 | 0 |
| Adda a Villa di Tirano | 31.43 | 32.59 | -4 |
| Mallero a Curlo | 11.75 | 11.74 | 0 |
| Adda a Caiolo | 61.65 | 57.83 | 6 |
| Adda ad Ardenno | 76.1 | 72.44 | 5 |
| Adda a Fuentes | 84.94 | 85.33 | 0 |

Tabella 4. Confronto portate stimate dal presente studio e portate definite dal PTUA [m³/s]

Le portate stimate sono lievemente differenti poiché nel presente studio è stata utilizzata la carta delle precipitazioni di Figura 17 ottenuta dal PTUA attraverso l'interpolazione di tipo krigging dei dati pluviometrici disponibili (si ricorda che tale carta viene suggerita nella procedura di regionalizzazione del PTUA per la definizione delle portate in sezioni diverse da quelle calcolate dal PTUA stesso), mentre nei calcoli effettuati dal PTUA è stato utilizzato il metodo dei “topoietti”. Tale incongruenza tra metodologie adottate e consigliate è dovuta al fatto che la procedura di regionalizzazione semplificata messa a punto dal PTUA venne definita a valle dei calcoli nelle ottanta sezioni prescelte.

La Direttiva del febbraio 2008 della Regione Lombardia, come già descritto nel par. 2.2, definisce due criteri per il calcolo della portata media. Il metodo che parte dalla carta delle precipitazioni di Figura 17 stabilisce che è necessario introdurre un fattore correttivo aggiuntivo, oltre a quello nivale. Tale fattore correttivo è stato inserito per omogeneizzare i risultati ottenuti dal PTUA con i risultati ottenibili con la procedura semplificata. Il fattore correttivo contiene in sé la correzione sia della semplificazione del contributo nivale tabellare (Tabella 3) sia dell'adozione della carta di precipitazione di Figura 17.

Tuttavia, nel presente studio non si è ritenuto necessario utilizzare tale correttivo della Direttiva dal momento che la carta di precipitazione di Figura 17, qui adottata, rappresenta una distribuzione areale della precipitazione media annua migliore e più affidabile di quella ottenibile con il metodo dei “topoietti”.

Altri studi che presentano stime delle portate utili per tale confronto sono, come già esposto nel cap. 2, i seguenti:

- il PAI, nell'Allegato 1 al Titolo III delle Norme di Attuazione, calcola la portata in 124 sezioni dei corsi d'acqua del territorio provinciale (v. par. 2.5);
- un altro studio in cui è stata stimata la portata, in alcune sezioni dei corsi d'acqua della Provincia di Sondrio, è lo Studio Montana “Progetto di riqualificazione dei corsi d'acqua” (v. par. 2.5);

- un ulteriore confronto è possibile attraverso l'applicazione della cosiddetta procedura "Poli98" adottata dalla Regione Lombardia a seguito di studi effettuati dal Politecnico di Milano; in particolare tale procedura² lega il contributo unitario medio alla piovosità media annua mediante l'espressione:

$$\mu(q) = 0.026 \cdot P \quad [l/s/km^2]$$

dove $\mu(q)$ è il contributo unitario espresso in $[l/s/km^2]$ e P la precipitazione media annua in $[mm]$.

Nella Tabella 5 sono riportate, per le 30 sezioni indicate nella Figura 26³, le portate stimate nel presente studio e quelle desunte dai suddetti studi, con i corrispondenti scostamenti percentuali rispetto alla portate calcolate nel presente studio "corrette" e "non corrette".

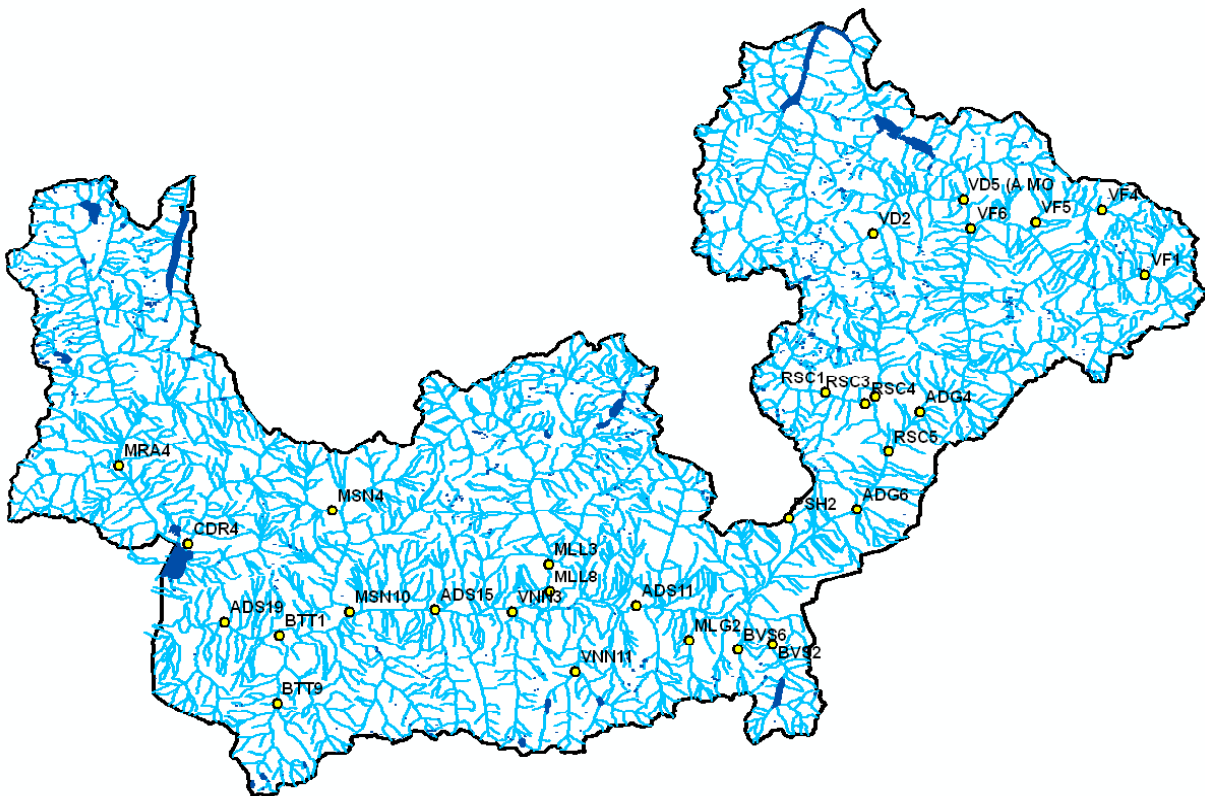


Figura 26. Sezioni di confronto delle portate calcolate nel presente studio con le portate stimate dal PAI, dallo Studio Montana e dalla formula Poli98.

² La procedura Poli98 è stata ottenuta nello Studio "Disponibilità ed ottimizzazione nell'uso della risorsa idrica - Quaderni Regionali di Ricerca n.33" della Regione Lombardia del 1999, mediante la regionalizzazione dei parametri della curva di durata delle stazioni disponibili nella Regione Lombardia ed è contenuta nel D.G.R. 7/2604 dell'11 dicembre 2000 (abrogato dall'art.40 del Regolamento Regionale del 24 marzo 2006),

³ Il confronto è stato effettuato su 30 sezioni delle 124 definite dal PAI, per le quali le superfici di bacino sottese assunte dal presente studio (e cioè quelle calcolate dal SIBCA) e dal PAI differiscono per meno del 10%. Per le altre sezioni, infatti, si sono riscontrate differenze marcate tra le superfici, anche superiori al 50%.

| Sezione | Bacino | PTCP '08 | | | PAI | | | POLI 98 | | | MONTANA | | |
|---------|---------------------------|----------|-----------|--------------|--------------------|-----------|------------|--------------------|-----------|------------|--------------------|-----------|------------|
| | | A [km2] | Qn [m3/s] | Qcorr [m3/s] | Qn [m3/s] | D Qn % | D Qn cor % | Qn m3/s | D Qn % | D Qn cor % | Qn m3/s | D Qn % | D Qn cor % |
| ADG4 | Adda a monte di Tirano | 642.15 | 16.72 | 16.47 | 20.92 | 25 | 27 | 20.19 | 21 | 23 | | | |
| ADG6 | Adda a monte di Tirano | 872.70 | 23.39 | 23.32 | 28.28 | 21 | 21 | 28.23 | 21 | 21 | | | |
| ADS11 | Adda a valle di Tirano | 1428.40 | 41.98 | 42.05 | 47.05 | 12 | 12 | 47.15 | 12 | 12 | | | |
| ADS15 | Adda a valle di Tirano | 2060.50 | 65.28 | 64.97 | 61.15 | -6 | -6 | 70.66 | 8 | 9 | | | |
| ADS19 | Adda a valle di Tirano | 2517.80 | 82.90 | 82.89 | 76.60 | -8 | -8 | 88.44 | 7 | 7 | | | |
| BTT1 | Bitto | 95.15 | 4.26 | 4.45 | 3.24 | -24 | -27 | 4.30 | 1 | -3 | | | |
| BTT9 | Bitto | 47.80 | 2.32 | 2.35 | 1.66 | -28 | -29 | 2.34 | 1 | 0 | | | |
| BVS2 | Belviso-Caronella-Bondone | 44.80 | 1.98 | 1.86 | 1.68 | -15 | -10 | 2.00 | 1 | 7 | | | |
| BVS6 | Belviso-Caronella-Bondone | 7.55 | 0.33 | 0.31 | 0.31 | -7 | 1 | 0.33 | 1 | 9 | | | |
| BVS10 | Belviso-Caronella-Bondone | 6.75 | 0.29 | 0.28 | 0.32 | 11 | 17 | 0.30 | 1 | 7 | | | |
| CDR4 | Codera-Ratti | 60.25 | 2.53 | 2.34 | 1.90 | -25 | -19 | 2.55 | 1 | 9 | | | |
| MLG2 | Malgina | 11.30 | 0.50 | 0.49 | 0.49 | -3 | 0 | 0.51 | 1 | 4 | | | |
| MLL3 | Mallero | 314.95 | 11.55 | 11.04 | 9.01 | -22 | -18 | 11.66 | 1 | 6 | 13.95 | 21 | 26 |
| MLL8 | Mallero | 321.65 | 11.75 | 11.23 | 13.54 | 15 | 20 | 11.85 | 1 | 6 | | | |
| MRA4 | Mera | 352.40 | 24.78 | 26.38 | 22.85 | -8 | -13 | 27.22 | 10 | 3 | | | |
| MSN4 | Valmasino | 33.35 | 1.32 | 1.27 | 1.40 | 7 | 11 | 1.33 | 1 | 5 | | | |
| MSN10 | Valmasino | 148.40 | 5.62 | 5.47 | 5.91 | 5 | 8 | 5.67 | 1 | 4 | | | |
| PSH2 | Poschiavino | 253.00 | 7.25 | 7.25 | 5.64 | -22 | -22 | 7.88 | 9 | 9 | | | |
| RSC1 | Roasco | 43.45 | 1.38 | 1.39 | 1.48 | 7 | 7 | 1.67 | 21 | 21 | | | |
| RSC3 | Roasco | 60.60 | 2.11 | 2.12 | 2.09 | -1 | -1 | 2.30 | 9 | 8 | | | |
| RSC4 | Roasco | 70.45 | 2.19 | 2.21 | 2.30 | 5 | 4 | 2.64 | 21 | 20 | | | |
| RSC5 | Roasco | 144.80 | 4.47 | 4.55 | 4.78 | 7 | 5 | 5.39 | 21 | 19 | 5.31 | 19 | 17 |
| VD2 | Valviola | 63.95 | 1.93 | 1.80 | 2.10 | 9 | 17 | 2.33 | 21 | 30 | | | |
| VD5 | Valviola | 139.15 | 3.86 | 3.78 | 4.51 | 17 | 19 | 4.66 | 21 | 23 | 4.89 | 27 | 29 |
| VF1 | Valfurva | 47.70 | 1.22 | 1.17 | 2.02 | 66 | 73 | 1.47 | 21 | 26 | 1.64 | 35 | 41 |
| VF4 | Valfurva | 19.30 | 0.51 | 0.48 | 0.72 | 41 | 50 | 0.62 | 21 | 29 | | | |
| VF5 | Valfurva | 44.75 | 1.18 | 1.12 | 1.83 | 55 | 63 | 1.43 | 21 | 27 | | | |
| VF6 | Valfurva | 223.25 | 5.71 | 5.60 | 8.72 | 53 | 56 | 6.90 | 21 | 23 | | | |
| VNN3 | Venina-Torchione-Livrio | 33.40 | 1.40 | 1.36 | 1.20 | -14 | -12 | 1.41 | 1 | 4 | | | |
| VNN11 | Venina-Torchione-Livrio | 27.00 | 1.23 | 1.19 | 0.91 | -26 | -24 | 1.24 | 1 | 4 | | | |
| | | | | | MAX (ASS) | 66 | 73 | MAX (ASS) | 21 | 30 | MAX (ASS) | 35 | 41 |
| | | | | | MEDIA (ASS) | 19 | 20 | MEDIA (ASS) | 10 | 13 | MEDIA (ASS) | 25 | 28 |

Tabella 5. Confronto delle portate calcolate nel presente studio con le portate stimate dal PAI, dallo Studio Montana e dalla formula Poli98.

Il confronto con le portate stimate dallo Studio Montana, nel quale sono state stimate le portate in corrispondenza delle prese degli impianti idroelettrici, è stato riportato in Tabella 4 solo laddove sussiste la corrispondenza tra le prese e le sezioni definite dal PAI.

Dall'analisi dei risultati ottenuti si evince che le differenze percentuali sono abbastanza simili sia per le portate "corrette" con il valore del contributo del sottostante sia per le portate "non corrette". Tuttavia, si riscontra un leggero aumento della differenza percentuale imputabile al fatto che le metodologie utilizzate dagli studi confrontati non tengono in alcun modo in conto del sottostante e quindi sono mediamente più in linea con le portate "non corrette".

In secondo luogo si evidenzia che le maggiori differenze si riscontrano con le portate ottenute dal PAI. Il massimo e la media in valore assoluto delle differenze percentuali sono infatti rispettivamente pari a 73 e 20 sia per le portate "corrette" che per quelle "non corrette". Come già ricordato, infatti, tale differenza è da imputare all'utilizzo di metodologie di regionalizzazione diverse: nel presente studio è stata utilizzata la metodologia indicata dal PTUA, mentre nel PAI si è ipotizzata l'esistenza di una analogia tra le oscillazioni a lungo termine del regime idrologico dei singoli sottobacini dell'Adda con quello dell'Adda a Fuentes.

Per quanto riguarda il confronto effettuato con lo Studio Montana si può constatare che le portate ottenute sono superiori rispetto alle portate stimate nel presente studio. In realtà tale studio ha applicato la medesima metodologia PTUA, ma con valutazioni della componente nevosa non coerenti con la metodologia stessa.

Oltre al confronto puntuale si riporta anche la mappatura degli scostamenti percentuali delle portate stimate dalla formula Poli98 per tutto il reticolo provinciale, utilizzando il sistema informatico GIS.

Dalle carte di Figura 27 e Figura 28 si evidenzia che per le aste principali la differenza non supera il 10% in valore assoluto per il medio e basso Adda e il 25% per l'alto Adda. Scostamenti più marcati si trovano nei rami secondari del reticolo naturale che si attenuano lievemente passando dalle portate “non corrette” a quelle “corrette”.

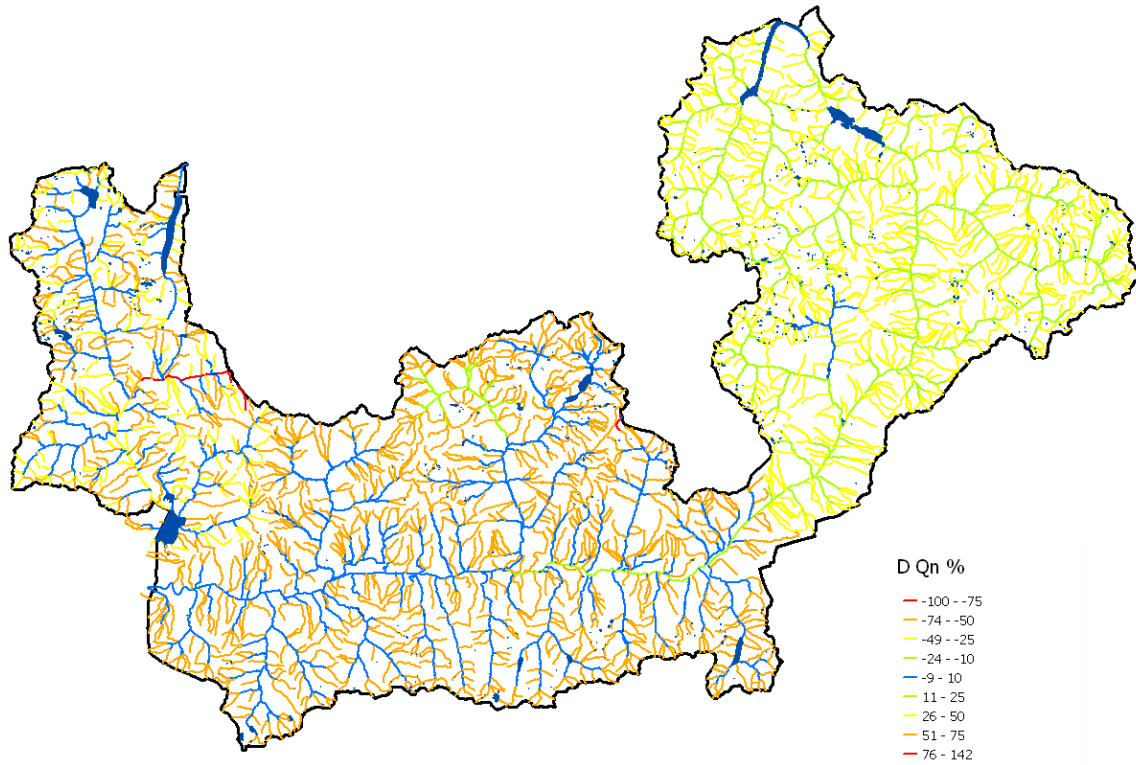


Figura 27. Carta del confronto delle portate “non corrette” stimate dal presente studio e dalla formula Poli98.

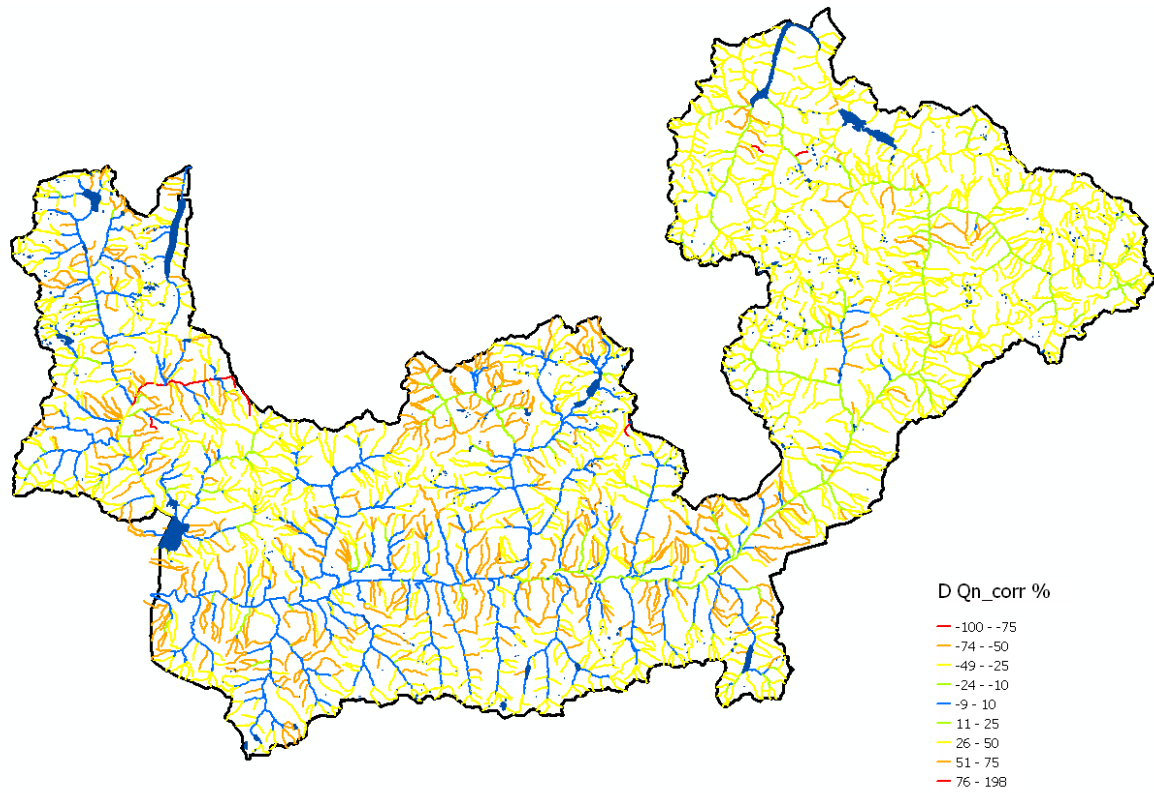


Figura 28. Carta del confronto delle portate “corrette” stimate dal presente studio e dalla formula Poli98.

4. CURVE DI DURATA E PORTATE DI MAGRA

La stima prima esposta delle portate medie annue nel reticolo costituisce ovviamente l'informazione di base per valutare la disponibilità naturale delle risorse idriche superficiali. Tale stima, tuttavia, non consente di caratterizzare le condizioni stagionali di magra in cui la temporanea riduzione delle portate in alveo può determinare l'insorgere di particolari criticità legate a situazioni di stress idrico naturale e alla sensibilità del corso d'acqua all'impatto derivante o da derivazioni o da scarichi di acque reflue grezze o trattate. Difatti, le condizioni di stress degli ecosistemi fluviali possono essere dovute tanto a picchi estremi quanto alla prolungata persistenza dei valori di magra. È quindi necessario procedere ad una stima delle portate di magra distribuita sull'intero reticolo idrografico provinciale.

Naturalmente a questo scopo possono essere richiamate le consolidate metodologie dell'idrologia in merito al comportamento statistico delle variabili idrologiche estreme, quale è appunto la portata di magra. Tali metodologie consentono di individuare, sulla base di consistenti serie misurate o ricostruite delle portate giornaliere nelle sezioni di misura, il valore di portata $Q_{n,m}$ definito come la portata che non viene raggiunta in alveo per una durata di n giorni consecutivi e con tempo di ritorno di m anni; ad esempio è usuale la determinazione della portata $Q_{7,2}$ o $Q_{7,10}$.

Una metodologia alternativa normalmente adottata individua i valori caratteristici delle portate di magra sulla base delle "curve di durata" delle portate, che definiscono la somma dei periodi dell'anno in cui la portata uguaglia o supera un prefissato valore della stessa. Valori usuali delle portate di magra desunti da tali curve sono i valori Q_{347} , Q_{355} , Q_{358} che rispettivamente individuano i valori di portata superati per 347, 355 o 358 giorni nell'anno medio. L'analisi delle portate di magra attraverso le curve di durata, valutando la dimensione temporale della criticità, porta a risultati molto interessanti e significativi.

Anche nel Piano Stralcio "Bilancio idrico" dell'Autorità di Bacino del fiume Arno sono state appunto utilizzate le curve di durata onde valutare la criticità quantitativa dell'Arno e dei suoi affluenti in funzione del numero di giorni in cui le portate medie giornaliere risultano inferiori al deflusso minimo vitale (v. par. 2.6.2).

Sono state quindi analizzate le curve di durata disponibili nel territorio della Provincia di Sondrio ed individuate negli studi acquisiti.

Lo studio della Regione Lombardia, Quaderni Regionali di Ricerca n. 33 – Disponibilità ed ottimizzazione nell'uso della risorsa idrica – presenta una dettagliata analisi statistica delle curve di durata disponibili sul territorio regionale con l'indicazione delle metodologie di regionalizzazione atte a stimare la curva di durata in sezioni differenti da quelle monitorate. Di seguito (dalla Figura 29 alla Figura 34) sono riportate le curve di durata osservate e stimate da tale studio nelle sezioni dei corsi d'acqua della Provincia di Sondrio in cui sono disponibili registrazioni giornaliere di portata. Nella Tabella 6 sono riportati il nome delle sezioni di misura, il corso d'acqua e la fonte dei dati.

| Corso d'acqua | Sezioni di misura | Fonte dei dati |
|----------------|-------------------|------------------|
| Adda | Tirano | SIM |
| | Fuentes | SIM – Cons. Adda |
| Livrio | Crocetta | SONDEL S.p.A. |
| Mallero | Curlo | ENEL S.p.A. |
| Roasco di Eita | S. Valgrosina | AEM S.p.A. |
| Venina | S. Venina | SONDEL S.p.A. |

Tabella 6. Elenco delle stazioni idrometriche in Provincia di Sondrio (Quaderni Regionali di Ricerca n. 33).

ADDA A TIRANO

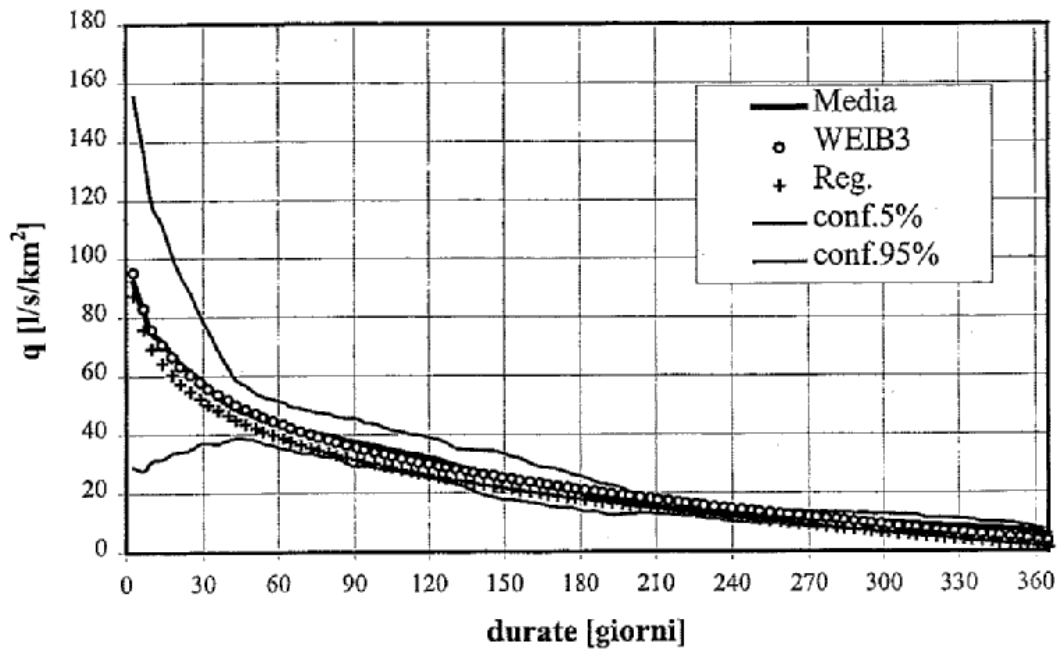


Figura 29. Curve di durata medie osservate e stimate dell'Adda a Tirano (Quaderni Regionali di Ricerca n. 33).

ADDA A FUENTES

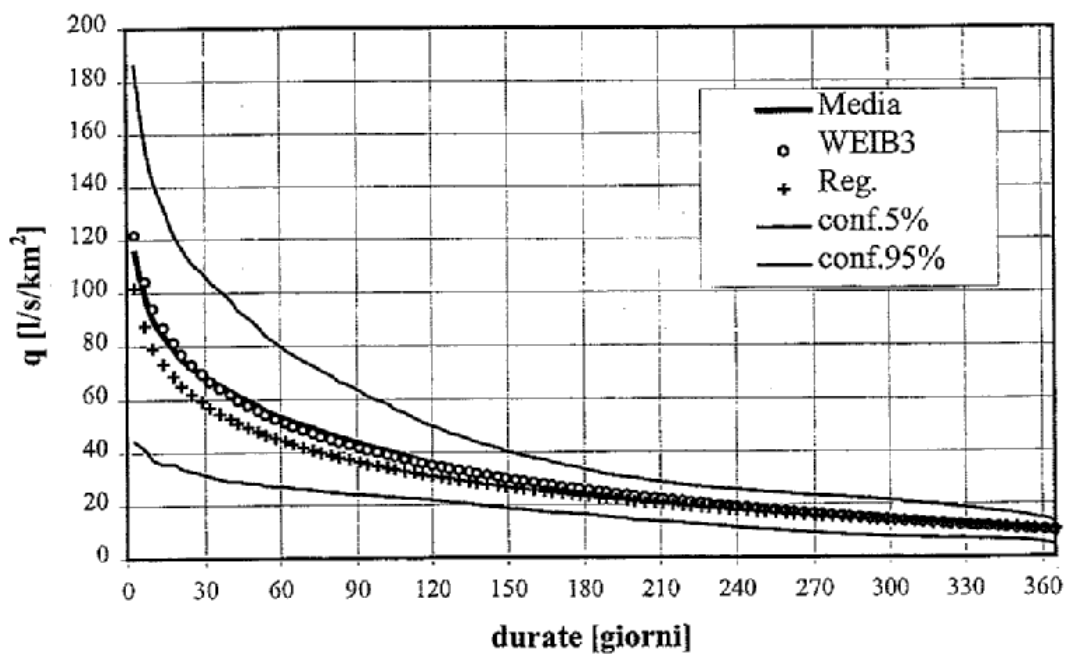


Figura 30. Curve di durata medie osservate e stimate dell'Adda a Fuentes (Quaderni Regionali di Ricerca n. 33).

LIVRIO A CROCETTA

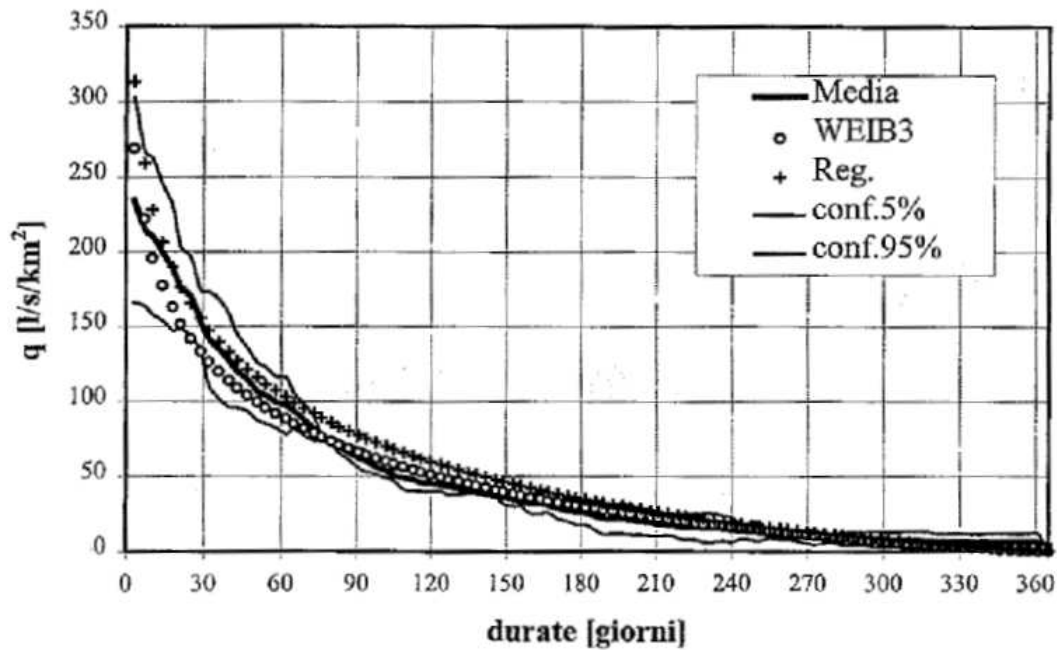


Figura 31. Curve di durata medie osservate e stimate del Livrio a Crocetta (Quaderni Regionali di Ricerca n. 33).

MALLERO A CURLO

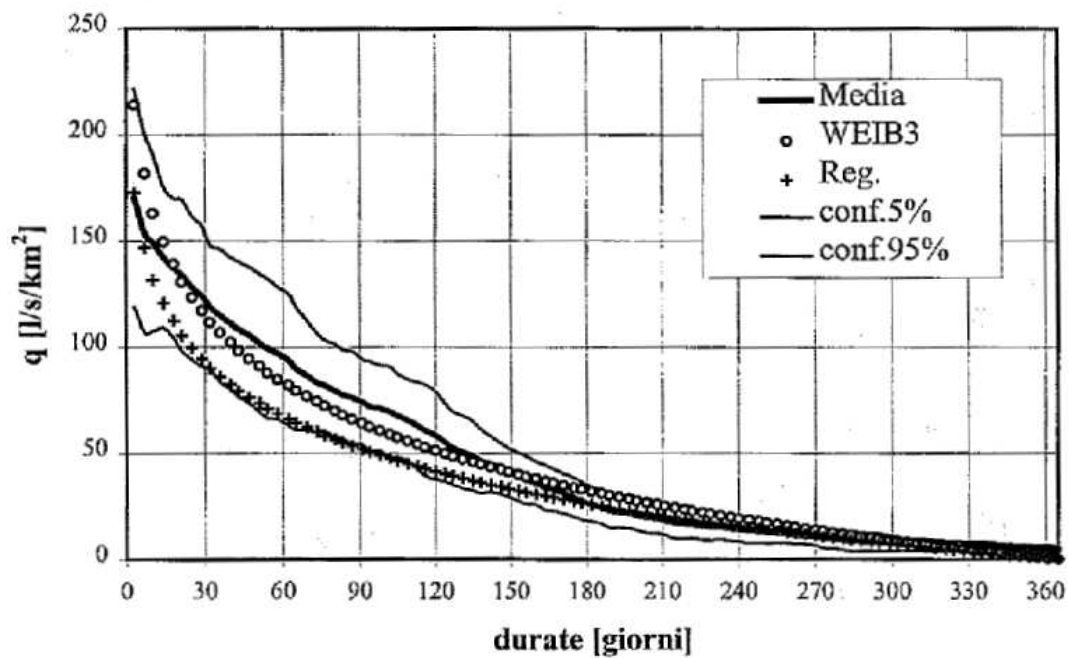


Figura 32. Curve di durata medie osservate e stimate del Mallero a Curlo (Quaderni Regionali di Ricerca n. 33).

ROASCO DI EITA A S.VALGROSINA

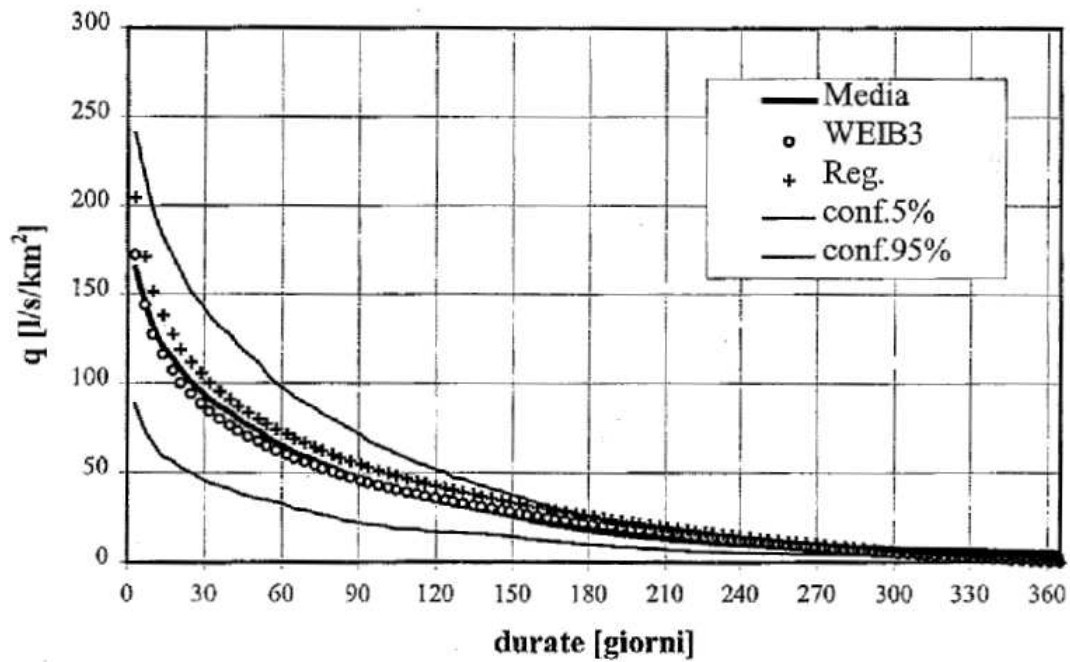


Figura 33. Curve di durata medie osservate e stimate del Roasco di Eita al S. Valgrosina (Quaderni Regionali di Ricerca n. 33).

VENINA A S.VENINA

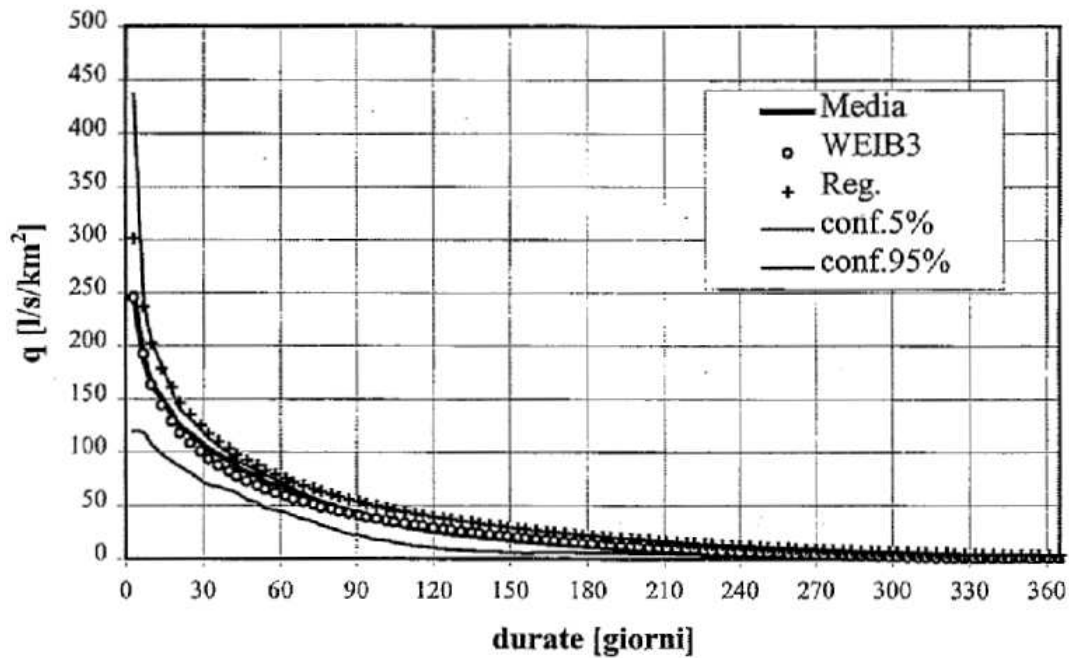


Figura 34. Curve di durata medie osservate e stimate del Venina a S. Venina (Quaderni Regionali di Ricerca n. 33).

Anche nel PAI, Allegato 1 “Bilancio idrico per il sottobacino dell’Adda sopralacuale” al Titolo III delle Norme di Attuazione sono riportate le curve di durata caratteristiche della Valtellina. In particolare, a partire dalle curve di durata delle stazioni di Viola a Premadio, Mallero a Curlo, Roasco d’Eita, Venina (afflussi al lago), Madrasco a Grumello, Livrio Superiore, Frodolfo a S.Caterina, Adda a S.Lucia, Adda a Sernio, Adda a Tirano, Adda a Boffetto (Ponte Baghetto), Adda a Fuentes e derivazione Spöl a S. Giacomo, il PAI ha costruito le curve medie di durata suddivise in tre gruppi (bacino Adda, bacini destra Adda e bacini sinistra Adda) riportate nella Figura 35. Successivamente nel PAI viene utilizzata una procedura di regionalizzazione atta a stimare la curva di durata nelle 124 sezioni individuate dal PAI stesso.

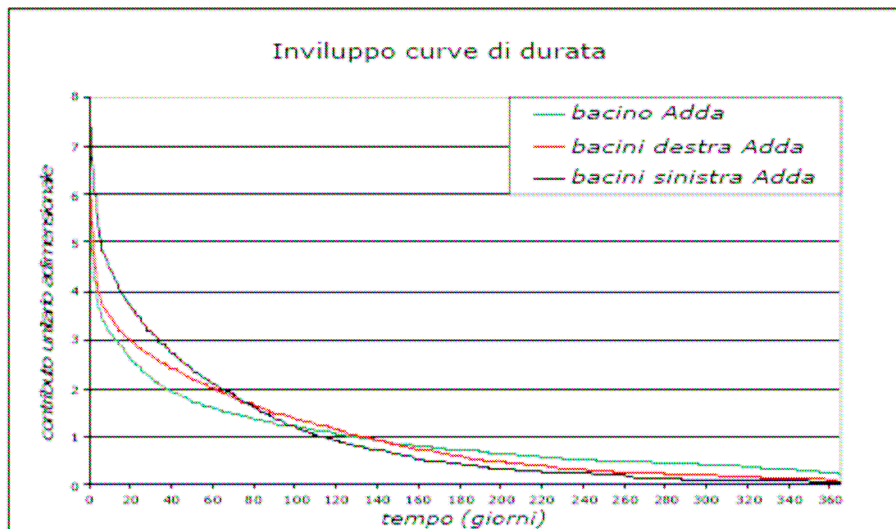


Figura 35. Inviluppo delle curve di durata della Valtellina (PAI).

Le metodologie adottate nei due studi ora menzionati, tuttavia, possono ritenersi indicative delle curve di durata nelle sezioni dei corsi d’acqua principali e non per il reticolo minore dal momento che, come già più volte ricordato, le stazioni idrometriche in cui sono disponibili le portate giornaliere sono localizzate nei bacini di medie e grandi dimensioni. Di fatto, è proprio sul reticolo minore che si presentano le magre più spinte, ove giocano un ruolo significativo i differenti meccanismi idrogeologici legati all’interscambio acque superficiali - acque sotterranee.

Pertanto le curve di durata sopra richiamate, pur rappresentando un utile strumento conoscitivo, non consentono una valutazione delle portate di magra distribuita su tutto il reticolo nei suoi diversi elementi di vario ordine. In particolare non possono rappresentare la parte più critica del territorio, ossia i piccoli bacini montani, i cui regimi idrometrici hanno marcato carattere di intermittenza con andamento delle curve di durata assai più ripide e differenti da quello dei corsi d’acqua maggiori.

4.1 STIMA DISTRIBUITA DELLE PORTATE NATURALI MEDIE ANNUE DI MAGRA

Non disponendo quindi, allo stato attuale delle conoscenze, né di curve di durata rappresentative dei corsi d’acqua di ogni ordine, né di serie idrometriche misurate in stazioni ben differenziate in tutti i bacini di interesse, si è di nuovo preso in considerazione, come

strumento più consono per ottenere una valutazione delle portate di magra, il modello precedentemente esposto relativo alla determinazione del deflusso di base.

Infatti nei periodi di prolungata assenza di precipitazioni piovose o nevose o di contributi dovuti allo scioglimento di ghiacciai e nevai, sono presenti in alveo i soli deflussi di base alimentati dai contributi legati ai fenomeni idrogeologici sotterranei.

Ne consegue che la stima precedentemente presentata (v. Cap. 3.2) del deflusso di base, somma delle riemergenze provenienti in ciascun sottobacino dai contributi ipodermico e profondo, di fatto costituisce una stima di una portata - indice delle magre, che, per le caratteristiche del modello idrogeologico adottato riferito alla precipitazione media annua, rappresenta la portata media annua naturale nei periodi di magra.

Naturalmente è ben chiaro che nelle magre più pronunciate la portata presente in molti alvei potrà essere addirittura nulla o comunque minore della sopraddetta portata rappresentativa della magra media annua. Ciò vale soprattutto per i torrenti montani soggetti, come detto, a un regime spiccatamente torrentizio.

I valori di tale portata media annua di magra sono visualizzati nella carta di Figura 36 per ogni tratto del reticolo idrografico provinciale. Essi sono stati ottenuti calcolando, con il modello descritto, la sopra citata portata di base per ciascun bacino elementare e per ciascun bacino omogeneo e poi sommando tali portate da monte verso valle, in base alla gerarchizzazione idrografica SIBCA dei bacini considerati.

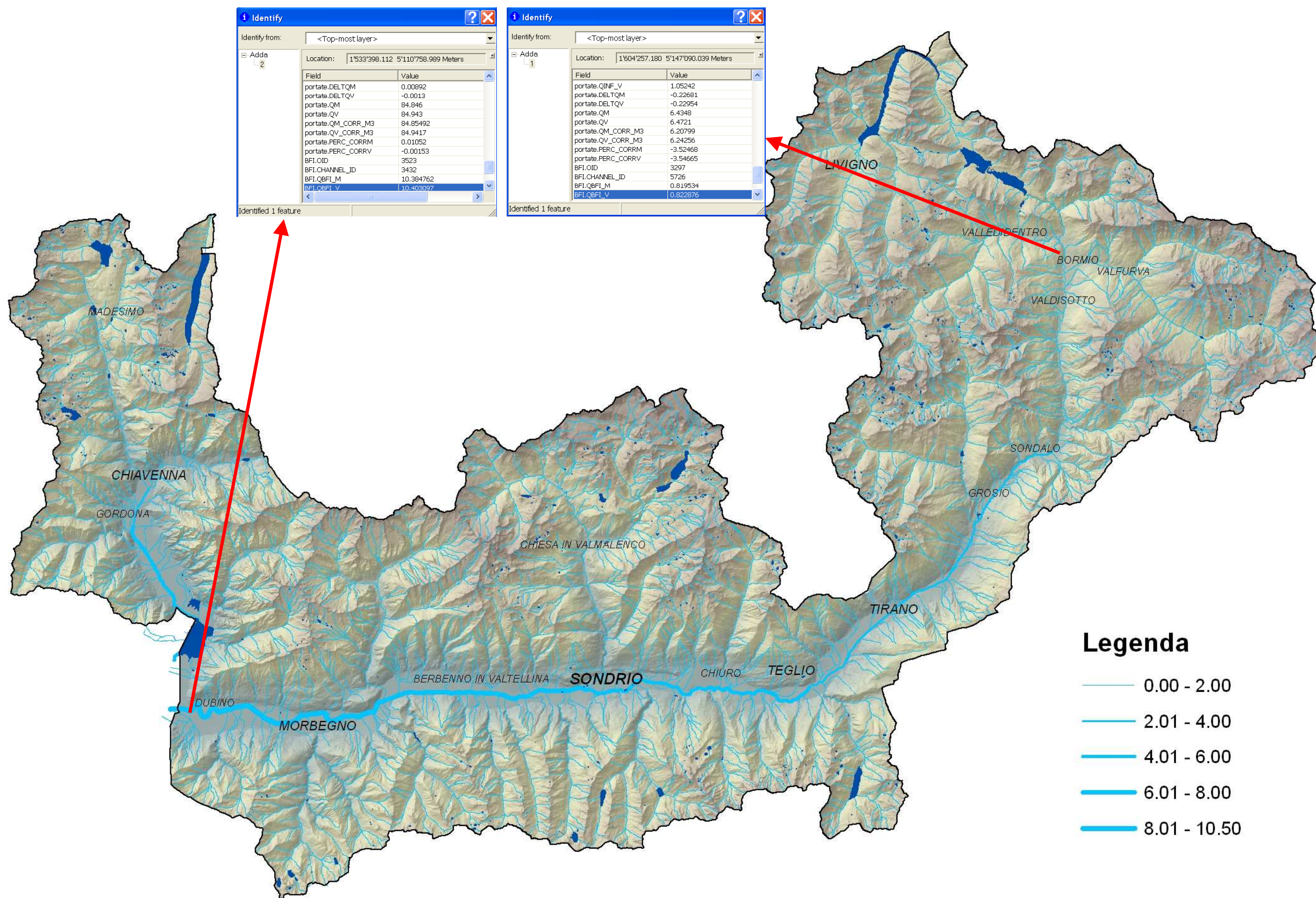


Figura 36. Carta del deflusso di base in m³/s (assunto come indicatore delle portate medie annue naturali di magra).

Anche in questo caso, il sistema informatico costruito consente di ottenere, selezionato un qualsiasi tratto, il valore della portata naturale media annua di magra.

È da sottolineare l'importanza della valutazione del sopra citato deflusso medio annuo di base. Esso infatti costituisce comunque una preziosa informazione sui meccanismi idrogeologici di formazione dei deflussi, la cui ricostruzione consente di migliorare le conoscenze attinenti le risorse idriche superficiali e sotterranee di ogni bacino e sottobacino. Si osserva infatti che la migliore stima delle magre non può che ottenersi da un modello interpretativo basato sia sull'idrogeologia dei bacini sia sulle analisi interpretative delle serie idrometriche disponibili con le quali conseguire la taratura del modello interpretativo stesso.

Gli studi e i monitoraggi auspicabili in futuro dovranno pertanto essere indirizzati allo sviluppo di tali modelli interpretativi, oltre che alla misura di più estese serie idrometriche atte a fornire informazioni dirette sui deflussi di magra riferiti a valori prefissati di frequenza e durata in bacini differenziati nei settori sia montani che di fondovalle.

Il deflusso medio annuo di base viene quindi adottato nel presente PTCP come indicatore molto importante di criticità delle situazioni di stress idrico naturale e quindi della sensibilità del corso d'acqua all'impatto derivante o da derivazioni o da scarichi di acque reflue grezze o trattate (v. capitoli 6 e 7).

4.1.1 Analisi di sensitività del modello sotterraneo

E' stata effettuata l'analisi di sensitività del modello sotterraneo al variare dei parametri utilizzati allo scopo di evidenziare la loro influenza sulla stima del deflusso di base.

L'analisi è stata condotta modificando un solo parametro alla volta, mantenendo costanti gli altri parametri e adottando una variazione del $\pm 20\%$ attorno ai valori prestabiliti.

I parametri utilizzati nel modello sono i seguenti:

- infiltrazione efficace delle aree da scarsamente a mediamente permeabili K_{MP} ;
- infiltrazione efficace delle aree altamente permeabili K_{AP} ;
- coefficiente di "restituzione ipodermica" delle aree da scarsamente a mediamente permeabili I_{MP} ;
- coefficiente di "restituzione ipodermica" delle aree altamente permeabili I_{AP} .

I casi analizzati nell'analisi di sensitività sono quindi i seguenti:

- CASO 1: $K_{MP} + 20\% K_{MP}$;
- CASO 2: $K_{MP} - 20\% K_{MP}$;
- CASO 3: $K_{AP} + 20\% K_{AP}$;
- CASO 4: $K_{AP} - 20\% K_{AP}$;
- CASO 5: $I_{MP} + 20\% I_{MP}$;
- CASO 6: $I_{MP} - 20\% I_{MP}$;
- CASO 7: $I_{AP} + 20\% I_{AP}$;
- CASO 8: $I_{AP} - 20\% I_{AP}$.

In Figura 37 sono mappate le variazioni percentuali del deflusso di base (BFI) per i casi analizzati. Nella Tabella 7 sono indicate la variazione media Δ_{media} e la deviazione standard σ calcolate sull'intero reticolo idrografico del territorio provinciale.

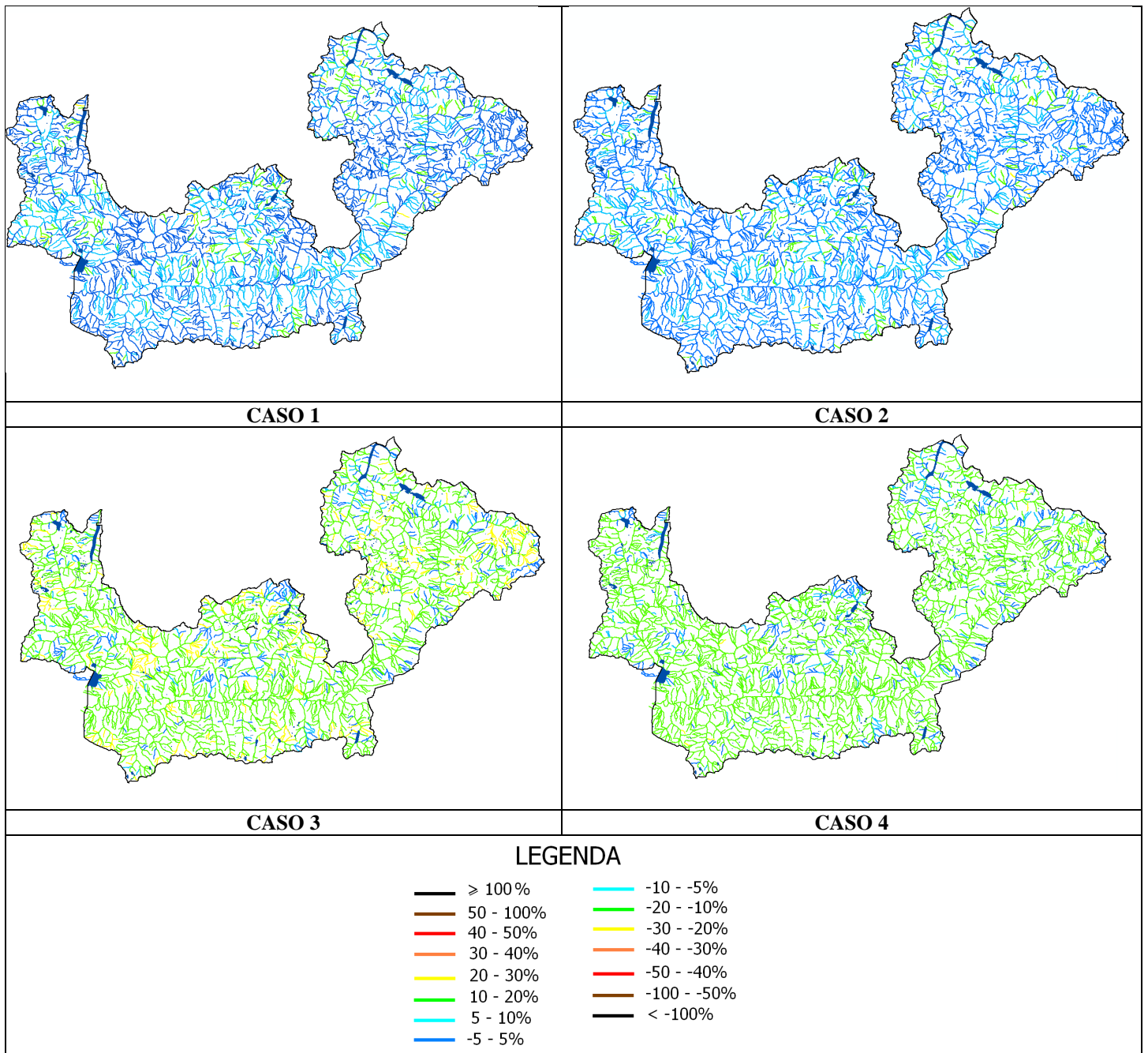
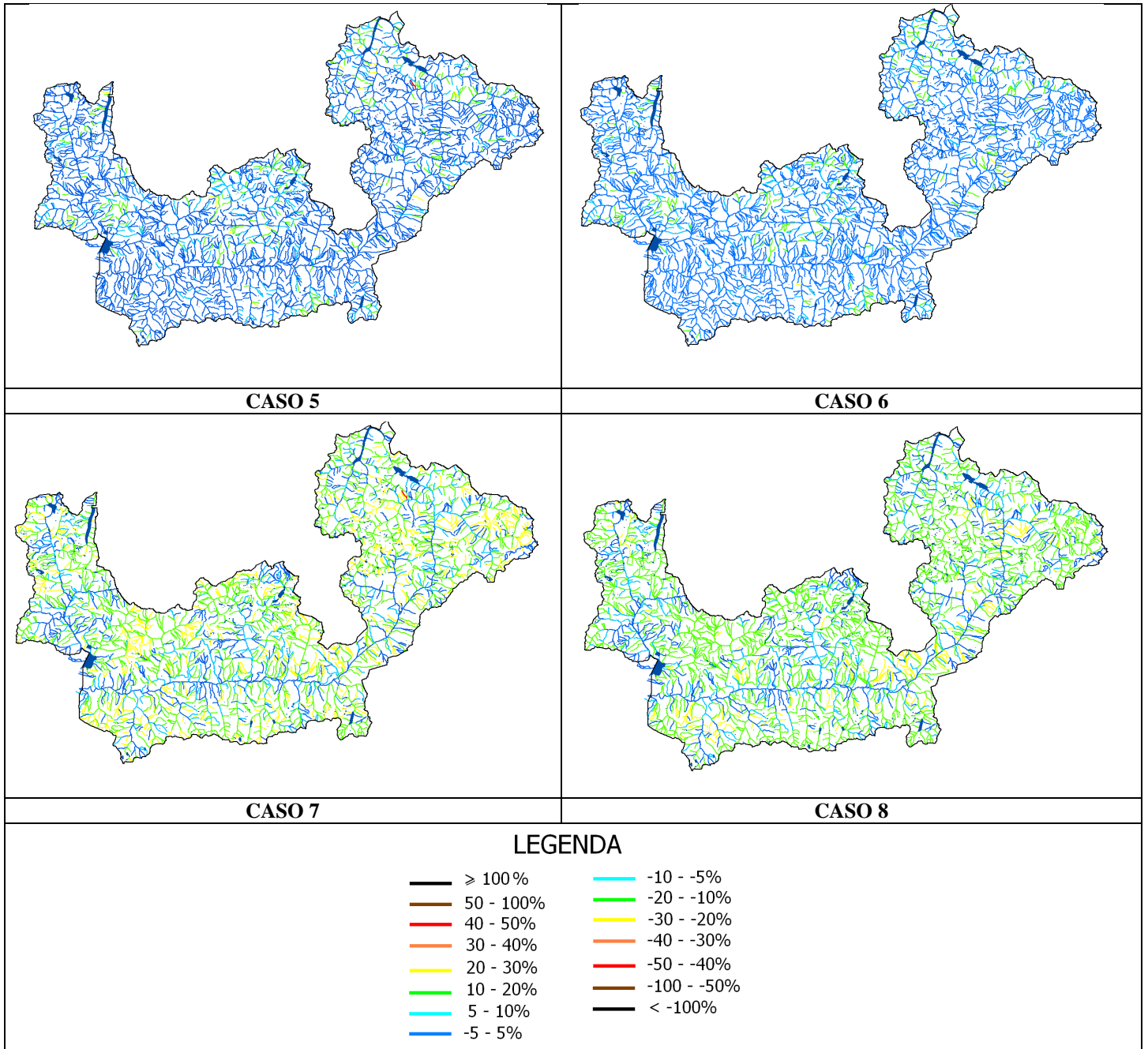


Figura 37. Carte della variazione percentuale della portata di base nei casi studiati nell'analisi di sensitività



(Continua) **Figura37.** Carte della variazione percentuale della portata di base nei casi studiati nell'analisi di sensitività.

| | K_{MP} | K_{AP} | I_{MP} | I_{AP} | Δ_{media} | σ |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|----------|
| valori utilizzati nel modello | 0.10 | 0.40 | 0.35 | 0.65 | % | % |
| CASO 1 | 0.12 | 0.40 | 0.35 | 0.65 | -4.44 | 4.10 |
| CASO 2 | 0.08 | 0.40 | 0.35 | 0.65 | 4.47 | 4.12 |
| CASO 3 | 0.10 | 0.48 | 0.35 | 0.65 | -14.59 | 5.36 |
| CASO 4 | 0.10 | 0.32 | 0.35 | 0.65 | 14.57 | 5.16 |
| CASO 5 | 0.10 | 0.40 | 0.42 | 0.65 | -2.08 | 4.60 |
| CASO 6 | 0.10 | 0.40 | 0.28 | 0.65 | 2.09 | 4.48 |
| CASO 7 | 0.10 | 0.40 | 0.35 | 0.78 | -6.70 | 12.27 |
| CASO 8 | 0.10 | 0.40 | 0.35 | 0.52 | 6.70 | 12.28 |

Tabella 7. Risultati dell'analisi di sensitività del modello sotterraneo (in rosso i valori modificati).

Prima di commentare i risultati dell'analisi sopra esposta è necessario fare alcune considerazioni sul significato idrogeologico dell'intervallo di variazione dei parametri, utilizzato nell'analisi di sensitività.

I valori caratteristici di infiltrazione, utilizzati nel modello di valutazione della portata di base rappresentano, per ciascun complesso idrogeologico, il valore che ottimizza, in termini semi-probabilistici, la corrispondenza di una data formazione geologica a un dato valore di infiltrazione efficace, all'interno di una data distribuzione di valori possibili (generalmente log-normale). Il valore caratteristico, in generale, viene assunto in corrispondenza delle code della distribuzione (5 percentile e 95 percentile dei valori o, nel caso in cui si disponga di campioni sufficientemente grandi, come ad esempio nel caso in cui si lavori a scala provinciale, della distribuzione delle medie dei valori).

I valori caratteristici risultanti vengono indicati, in letteratura, come valori “guida” (v. Civita M. “Idrogeologia Applicata e Ambientale: appendice B” Casa Editrice Ambrosiana, 2005).

Sulla base di quanto sopra appare evidente come, alla scala di analisi e in termini probabilistici, la variabilità idrogeologica dei valori caratteristici di infiltrazione efficace, utilizzati nel modello delle acque sotterranee, sia relativamente piccola rispetto all'intervallo di variazione utilizzato nell'analisi di sensitività, particolarmente per le aree “altamente permeabili”.

Per quanto riguarda la stima dei coefficienti con cui è stata determinata la ripartizione tra infiltrazione ipodermica (I_{AP}) e profonda (I_{MP}), allo stato attuale delle conoscenze, non si dispone di una casistica sperimentale sufficientemente ampia e “collaudata”. Pertanto, la scelta di un valore caratteristico appare più incerta. L'adozione di un intervallo di variazione relativamente ampio ($\pm 20\%$), ha consentito pertanto di valutare l'incidenza del grado di incertezza dei parametri sulla “stabilità” del risultato.

Sulla base delle sopra esposte considerazioni generali, i risultati dell'analisi di sensitività eseguita possono ritenersi più che accettabili. Infatti, dalla Tabella 7 e dalle carte di Figura 37 si evince che:

- la variazione media della portata di base, in funzione della variazione dei parametri di controllo, calcolata sull'intero reticolo idrografico della Provincia di Sondrio, risulta minore dell'ampiezza dell'intervallo di variazione dei parametri stessi, in tutti i casi esaminati. Anche la relativa deviazione standard evidenzia, in tutti i casi, una variabilità degli scostamenti percentuali della portata di base, contenuta sempre all'interno dell'intervallo di variabilità di analisi. Ne consegue un grado di stabilità del risultato più che accettabile;

- il modello risulta più sensibile ai valori relativi alle formazioni “altamente permeabili” che, come sopra esposto, sono quelle per le quali la stima del coefficiente di infiltrazione efficace appare meno incerta;
- il modello appare poco sensibile alla variazione dei coefficienti di ripartizione dell’infiltrazione tra componente ipodermica e profonda. Tale risultato è estremamente significativo in quanto evidenzia come il modello tenda a minimizzare, nei risultati, il grado di incertezza insito nella stima di tali parametri caratteristici;
- le cartine evidenziano, nel dettaglio, che la portata di base, al variare dei parametri di controllo, subisce variazioni più elevate nei bacini di dimensioni molto piccole, caratterizzati da aste torrentizie molto corte. Nei bacini più importanti, la risposta della portata di base dei corsi d’acqua è nella maggior parte dei casi minore del 5% (in valore assoluto). Anche questo risultato è estremamente significativo poiché evidenzia che l’errore commesso nella stima della portata di base, per effetto delle incertezze insite nella stima dei parametri di controllo dell’infiltrazione ipodermica e profonda, tende a minimizzarsi progressivamente nei corsi d’acqua più importanti e interessanti dal punto di vista della derivazione idroelettrica.

5. UTILIZZAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE

5.1 PREMESSA

Nel presente capitolo viene illustrata l'utilizzazione delle risorse idriche sotterranee e superficiali della Provincia di Sondrio.

5.2 STATO ATTUALE DELLE UTILIZZAZIONI DELLA RISORSA IDRICA SOTTERRANEA

Il grado di utilizzazione della risorsa idrica sotterranea è stato stimato alla scala dei “cinque bacini omogenei”, così come definiti nelle pagine precedenti: Mera Monte, Mera Valle, Adda Monte, Adda Valle, Spöl.

I bacini Mera Valle e Adda Valle sono caratterizzati dalla presenza di un fondovalle alluvionale, in cui le acque di infiltrazione alimentano direttamente la falda di fondovalle e quella di subalveo.

Per ciascun bacino omogeneo, il grado di utilizzazione della risorsa è definito dal rapporto tra prelievi e ricarica del sistema idrogeologico sotterraneo.

I prelievi sono stati stimati sulla base del Catasto Utenze Idriche Regionale. Queste sono sostanzialmente di due tipi: opere di presa di sorgenti; pozzi. I pozzi sono perlopiù situati sul fondovalle alluvionale di Adda valle e Mera Valle (Figura 38).

LEGENDA

| | |
|-----------------------------------|-----------------------|
| ● Portate_Comuni_Catasto_Sorgenti | ■ Adda_Monte |
| ● Portate_Comuni_Catasto_Pozzi | ■ Adda_Valle |
| ■ Mera_Valle | ■ Spoel |
| ■ Mera_Monte | — Acquedotto potabile |

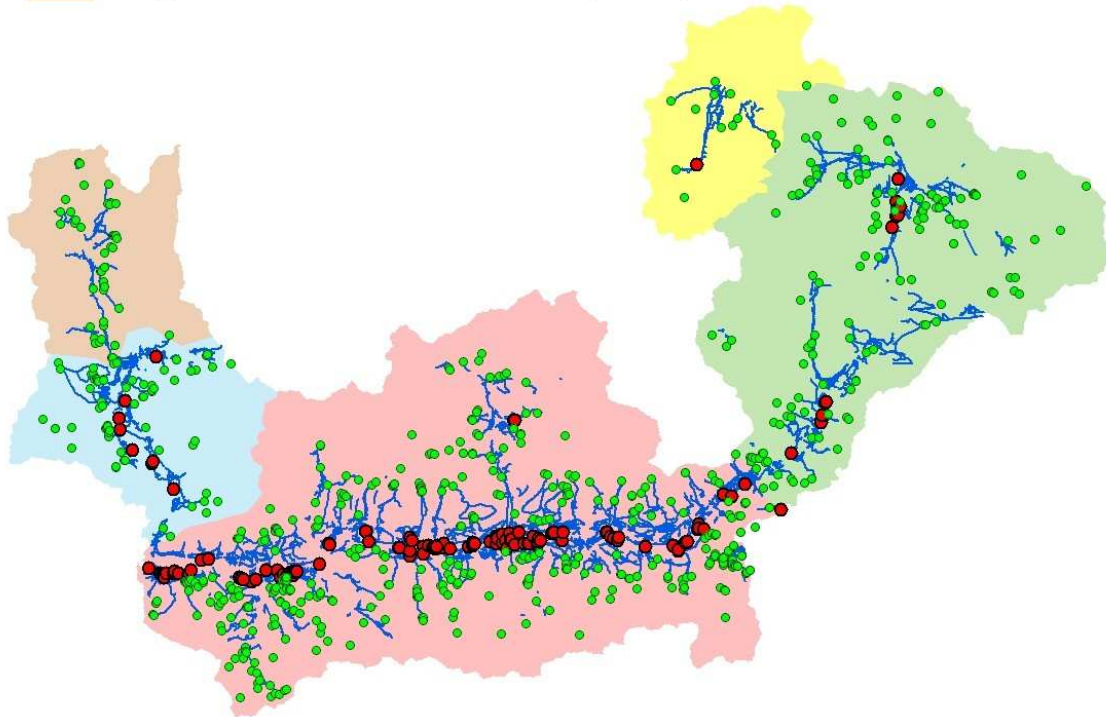


Figura 38 Carta delle derivazioni sotterranee.

La stima della portata di prelievo è stata effettuata sulla base delle portate di concessione massime, non necessariamente coincidenti con i consumi reali.

Per quanto riguarda l'uso potabile della risorsa sotterranea, è stato possibile effettuare una verifica del significato dei consumi desunti dalle portate di concessione, confrontando il risultato ottenuto con i volumi idrici erogati dai sistemi acquedottistici, comune per comune, nell'anno solare. Di questi, infatti, sono noti sia i volumi annui immessi in rete, comprensivi delle perdite, sia quelli relativi ai consumi di punta (massimi consumi, ad esempio nel periodo di massima presenza turistica, ecc.).

Questa verifica è stata impostata incrociando la rete acquedottistica, comprensiva di opere di presa e serbatoi di accumulo, con i limiti amministrativi dei Comuni della Provincia di Sondrio. Per tal via è stato possibile, noti i volumi erogati da ciascun Comune nell'anno solare, determinare le sorgenti di alimentazione di uno o più Comuni. Nel caso in cui una sorgente alimenta più Comuni, il prelievo annuo è dato dalla somma dei volumi erogati da ciascun comune. Nel caso in cui uno o più Comuni è alimentato da più di una sorgente, il volume totale erogato è stato equidistribuito tra le sorgenti. Quest'ultimo risultato è stato confrontato, per verifica, con le portate di concessione. Tale procedura, sia pur limitatamente ai prelievi per uso potabile (che rappresentano tuttavia la maggior parte del prelievo), ha consentito di verificare che i volumi di concessione sono in prima approssimazione rappresentativi dei volumi massimi erogabili in rete. Tale conclusione, in mancanza di ulteriori dati, è stata estesa anche agli altri usi (vale a dire che le portate di concessione sono rappresentative del prelievo massimo, non necessariamente coincidente con i consumi reali).

Nella Provincia di Sondrio gli usi delle acque sotterranee riguardano:

- antincendio;
- igienico;
- industriale;
- irriguo;
- piscicoltura;
- potabile;
- produzione Energia;
- zootecnico
- zootecnico – Allevamento
- minerale
- altro uso.

I grafici seguenti (Figura 39 e Figura 40) evidenziano i rapporti tra derivazioni da pozzo e da sorgente.

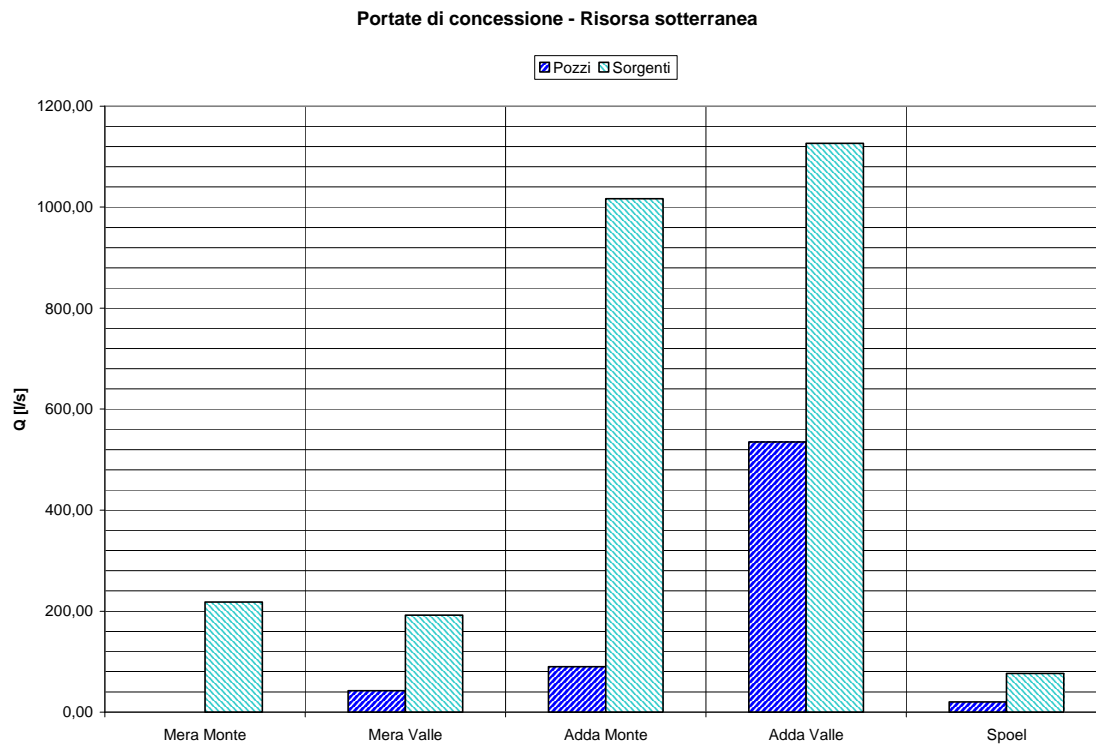


Figura 39. Portate di concessione e modalità di derivazione (pozzo, sorgente).

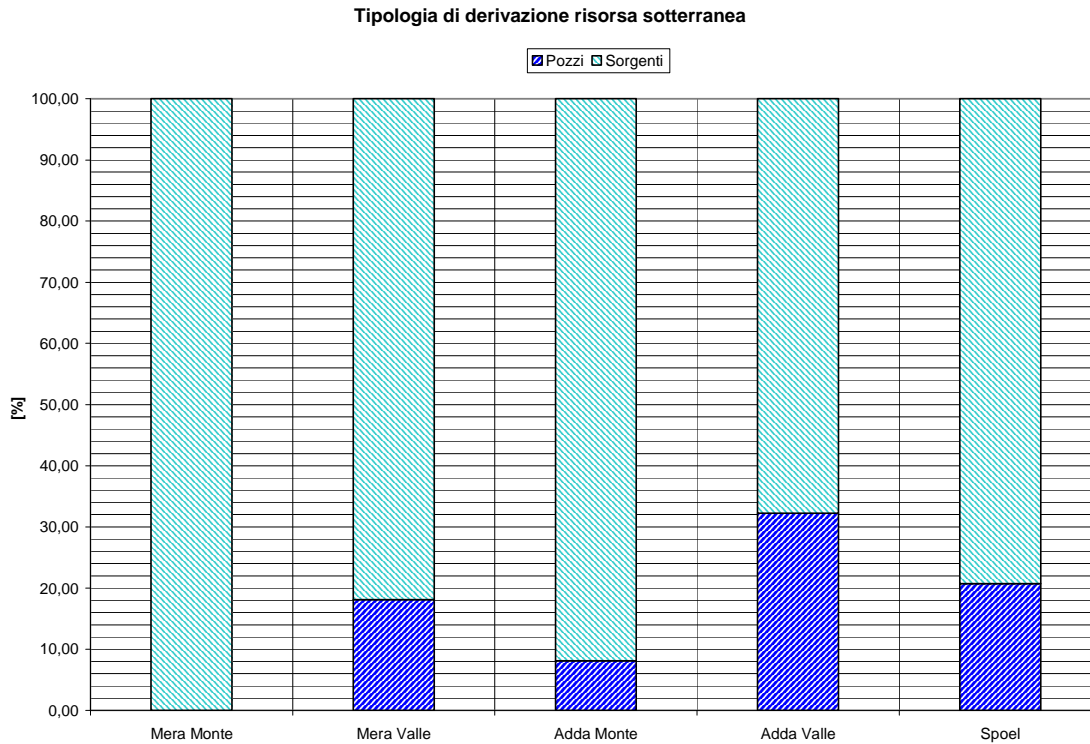


Figura 40. Rapporto tra derivazione da pozzo e da sorgente in ciascun bacino omogeneo.

Premesso che i dati a disposizione non corrispondono esattamente alla condizione di prelievo reale, i risultati conseguiti consentono tuttavia di trarre alcune indicazioni utili per avere una stima di larga massima del grado di utilizzazione delle risorse sotterranee. Si riportano, di seguito, i risultati relativi ai bacini omogenei considerati.

L'istogramma seguente evidenzia l'importanza relativa dei diversi utilizzi delle acque sorgentizie, in ciascun bacino omogeneo.

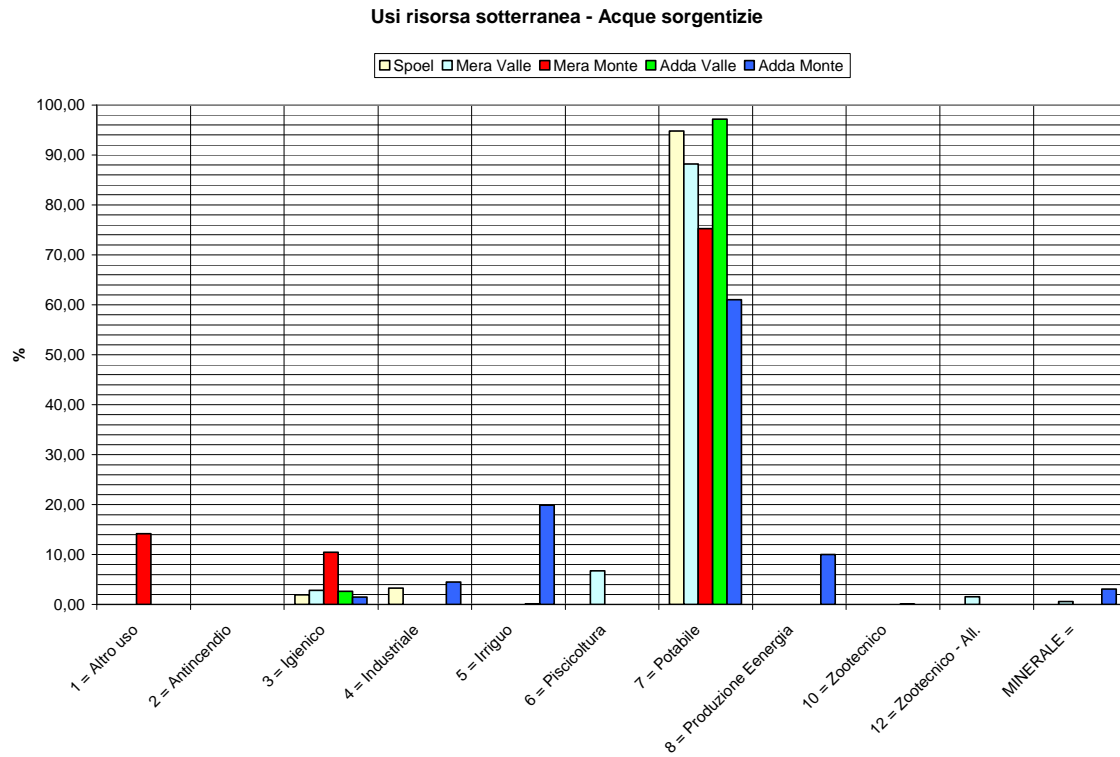


Figura 41. Ripartizione percentuale nei cinque bacini omogenei del territorio provinciale dei diversi usi alimentati da sorgente.

L'istogramma seguente evidenzia l'importanza relativa dei diversi utilizzi delle acque emunte da pozzi, nei bacini omogenei considerati.

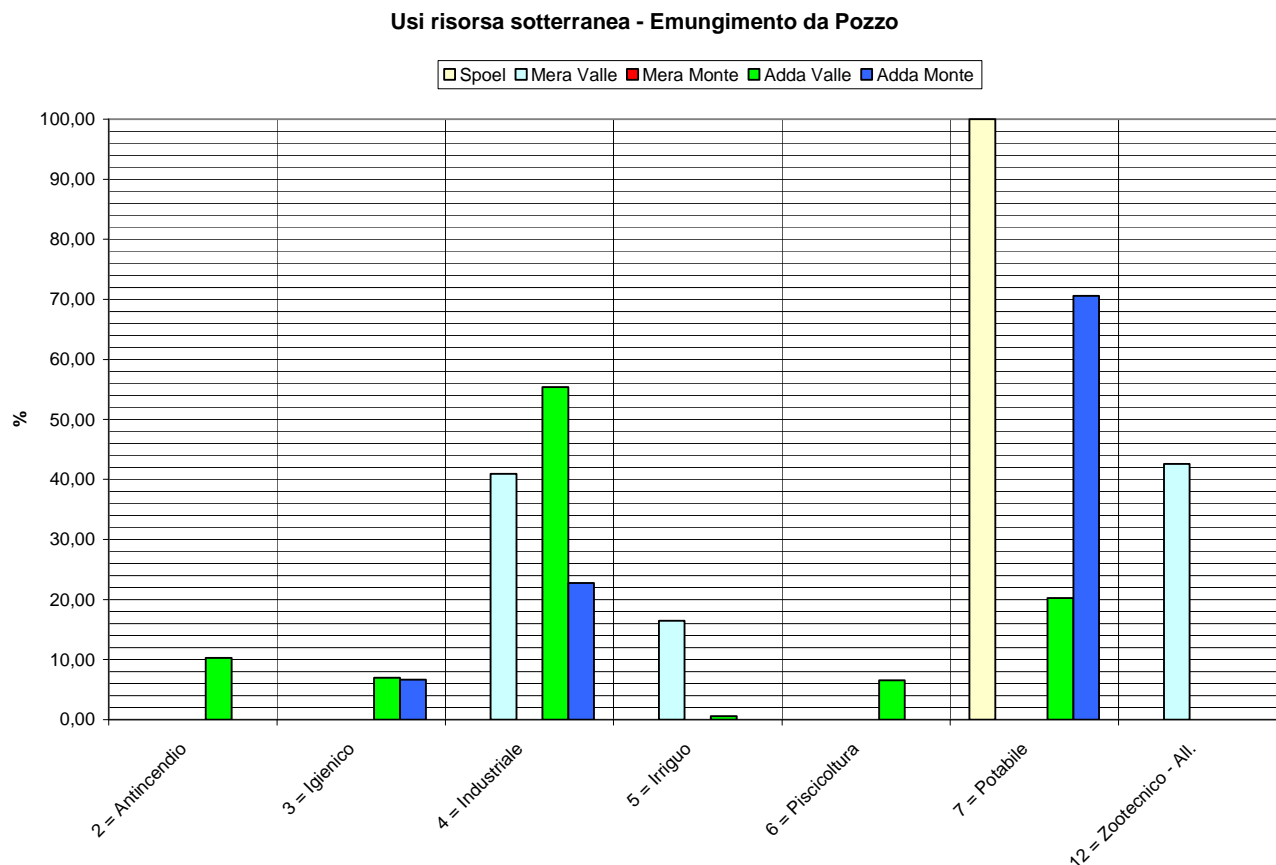


Figura 42. Ripartizione percentuale nei cinque bacini omogenei del territorio provinciale dei diversi usi alimentati da pozzo.

Si evince come l'uso potabile costituisca la principale utilizzazione delle acque sorgentizie in tutti i bacini considerati, mentre i prelievi da pozzo alimentano anche un significativo uso industriale (bacini Adda Monte, Adda Valle e Mera Valle). L'uso irriguo è presente in percentuale significativa solo nel bacino dell'Adda Monte (da sorgente, in misura del 20% circa) e del Mera Valle (da pozzo, in misura del 16% circa).

Si riportano, di seguito, gli "indici di sfruttamento specifici" per ciascun bacino omogeneo, (vale a dire per i prelievi da sorgente e da pozzo).

Questo indice assume un significato molto importante per i bacini di Adda Valle e Mera Valle, in cui è presente una zona di infiltrazione di fondo valle, alimentante la falda presente nel detrito di fondo valle e quella di subalveo. Questa, infatti, costituisce un acquifero i cui circuiti di alimentazione sono situati a quote inferiori rispetto ai circuiti di infiltrazione alimentanti le emergenze sorgentizie montane strictu senso. L'indice di utilizzazione delle acque sorgentizie, in questi due bacini, dovrebbe pertanto essere calcolato al netto dell'infiltrazione di fondo valle. Questo contributo rappresenta, quindi, la ricarica della falda di fondo valle, da utilizzare per la stima dell'indice di utilizzazione della falda stessa (attraverso l'emungimento da pozzi).

Dalla tabella dell'indice di sfruttamento delle acque sorgentizie (Tabella 8) si evince come lo stesso sia estremamente variabile in funzione della componente di infiltrazione considerata. Se si ammette che la risorsa sotterranea sia alimentata a rigore solo dalla componente profonda dell'infiltrazione, in quanto quella ipodermica viene restituita come portata di base al deflusso superficiale, l'indice di utilizzazione delle risorse sotterranee varia tra il 20% di

Spael e il 185% di Adda Valle. È verosimile (oltre che ragionevole) ritenere che in una qualche misura anche il deflusso ipodermico possa contribuire, su base annua, all'alimentazione di sorgenti i cui circuiti idrogeologici siano determinati da corpi geologici quaternari, di copertura (molto diffusi tra le unità permeabili affioranti, ad esempio, nel bacino dell'Adda). L'indice di sfruttamento della risorsa sotterranea, pertanto, non deve essere concepito come un valore unico, ma piuttosto come un intervallo di valori rappresentativi, compreso tra un minimo (calcolato sull'infiltrazione totale) ed un massimo (calcolato al netto dell'infiltrazione ipodermica).

| ADDA MONTE - INDICE DI SFRUTTAMENTO SORGENTI | | |
|--|---------|---|
| Totale infiltrazione [l/s] = | 3258,68 | |
| Inf. Ipodermica [l/s] = | 1895,54 | |
| Prelievo sorgenti [l/s] = | 1016,36 | |
| Indice di sfruttamento sul tot_i | 31 | % |
| Indice di sfruttamento sul netto | 75 | % |

| ADDA VALLE - INDICE DI SFRUTTAMENTO SORGENTI | | |
|--|---------|---|
| Totale infiltrazione [l/s] = | 7296,59 | |
| Inf. Ipodermica [l/s] = | 4274,47 | |
| Infiltrazione Fondovalle Adda [l/s] = | 2412,40 | |
| Prelievo sorgenti [l/s] = | 1126,69 | |
| Indice di sfruttamento sul tot_i | 23 | % |
| Indice di sfruttamento sul netto | 185 | % |

| MERA MONTE - INDICE DI SFRUTTAMENTO SORGENTI | | |
|--|---------|---|
| Totale infiltrazione [l/s] = | 1930,14 | |
| Inf. Ipodermica [l/s] = | 1143,85 | |
| Prelievo sorgenti [l/s] = | 218,05 | |
| Indice di sfruttamento sul tot_i | 11 | % |
| Indice di sfruttamento sul netto | 28 | % |

| MERA VALLE - INDICE DI SFRUTTAMENTO SORGENTI | | |
|--|---------|---|
| Totale infiltrazione [l/s] = | 2714,12 | |
| Inf. Ipodermica [l/s] = | 1544,15 | |
| Infiltrazione Fondovalle Mera [l/s] = | 838,43 | |
| Prelievo sorgenti [l/s] = | 192,32 | |
| Indice di sfruttamento sul tot_i | 10 | % |
| Indice di sfruttamento sul netto | 58 | % |

| SPOEL - INDICE DI SFRUTTAMENTO SORGENTI | | |
|---|--------|---|
| Totale infiltrazione [l/s] = | 840,66 | |
| Inf. Ipodermica [l/s] = | 448,77 | |
| Prelievo totale [l/s] = | 76,50 | |
| Indice di sfruttamento sul tot_i | 9 | % |
| Indice di sfruttamento sul netto | 20 | % |

Tabella 8. Indice sfruttamento delle sorgenti.

I risultati conseguiti evidenziano, in sintesi, che l'indice di sfruttamento del sistema idrogeologico alimentante le emergenze sorgentizie è molto elevato nel bacino dell'Adda. È significativo constatare che, al netto dell'infiltrazione ipodermica e dell'infiltrazione alimentante la falda di fondovalle, nelle condizioni di massimo attingimento date dalle portate di concessione, l'indice è maggiore del 100%. Questo risultato, più che un valore di utilizzazione in senso assoluto, deve essere inteso come rappresentativo di una condizione di *rischio di criticità* in concomitanza di periodi di deficit pluviometrico prolungato, in cui può venire meno la ricarica. In siffatte condizioni è verosimile che l'uso attuale possa intaccare la riserva sotterranea (prelievo maggiore della ricarica).

| ADDA VALLE - FALDA DI FONDOVALLE | | MERA VALLE - FALDA DI FONDOVALLE | |
|--------------------------------------|---------|-------------------------------------|--------|
| Infiltrazione fondovalle [l/s] = | 2412,40 | Infiltrazione fondovalle [l/s] = | 838,43 |
| Prelievo da pozzo [l/s] = | 535,15 | Prelievo da pozzo [l/s] = | 42,50 |
| Indice di sfruttamento = 22 % | | Indice di sfruttamento = 5 % | |

Tabella 9. Indice di sfruttamento della falda di fondovalle.

A fronte di un indice di utilizzazione di acque sorgentizie molto elevato, il confronto tra questo ed il grado di utilizzazione delle acque emunte da pozzo dal fondovalle dell'Adda e del Mera evidenzia un livello di utilizzazione della falda di fondovalle decisamente più contenuto, in relazione alla potenzialità della ricarica (Tabella 9). In questo caso l'indice di utilizzazione è da riferire alla portata di infiltrazione totale (di fondovalle), in quanto la totalità dell'alimentazione costituisce la ricarica della falda (la componente ipodermica è trascurabile).

Sulla base di quanto sopra esposto si individuano le seguenti condizioni generali di *rischio di criticità*:

- bacini omogenei con indice di utilizzazione delle acque sorgentizie maggiore del 100% (Adda Valle) e Indice di *rischio di criticità* relativa molto elevato ($I_s > 1$);
- bacini omogenei con indice di utilizzazione delle acque sorgentizie compreso tra 65% e 100% (Adda Monte) e Indice di *rischio di criticità* relativa elevato ($0,65 < I_s < 1$);
- bacini omogenei con indice di utilizzazione delle acque sorgentizie compreso tra 65% e 30% (Mera Valle) e Indice di *rischio di criticità* relativa medio ($0,30 < I_s < 0,65$);
- bacini omogenei con indice di utilizzazione delle acque sorgentizie minore del 30% (Mera Monte, Spoel) e Indice di *rischio di criticità* relativa basso ($I_s < 0,30$).

Per quanto riguarda le falde idriche di fondovalle dell'Adda e del Mera, si individuano le seguenti condizioni generali di *rischio di criticità*:

- falde di fondovalle con indice di utilizzazione delle acque minore del 30% (Mera Valle, Adda Valle) e Indice di *rischio di criticità* relativa basso ($I_f < 0,30$).

Quanto sopra suggerisce le seguenti considerazioni:

1. è opportuno preservare le zone di ricarica dei circuiti idrogeologici montani, alimentanti le emergenze sorgentizie, il cui prelievo, in alcuni casi, è già molto elevato;
2. è altresì opportuno preservare le zone di alimentazione della falda di fondovalle, rappresentanti una risorsa strategica e allo stesso tempo vulnerabile.

Con riferimento a quanto esposto nei successivi capitoli relativi alla stima della risorsa idrica superficiale e al suo grado di antropizzazione, quanto sopra potrà essere perseguito preservando i piccoli bacini montani, dove l'infiltrazione è prevalente rispetto alle emergenze sorgentizie. Tali bacini rappresentano pertanto le zone di alimentazione dei sistemi idrogeologici sotterranei. D'altro canto, anche i piccoli bacini situati a quote relativamente poco elevate costituiscono gli assi drenanti sia delle acque di infiltrazione ipodermica che di quella profonda, una volta riaffiorata attraverso le manifestazioni sorgentizie. Anche per questi bacini, pertanto, che contribuiscono in modo determinate ad alimentare la falda di fondovalle, appare assai opportuna una strategia di salvaguardia della risorsa idrica.

Per quanto riguarda il grado di antropizzazione delle portate idriche superficiali, ad opera dei prelievi di acque sorgentizie, le verifiche effettuate evidenziano che:

- i prelievi da sorgente, ad eccezione verosimilmente per l'uso irriguo, vengono in buona parte restituiti al sistema idrico superficiale attraverso gli scarichi fognari;
- i prelievi, in ogni caso, risultano di entità talmente piccola da poter essere ritenuti indubbiamente confrontabili con l'ordine di grandezza dell'errore commesso nella stima delle portate naturali;
- pertanto, nella correzione delle portate del deflusso superficiale di ciascun corso d'acqua, per la stima delle rispettive portate antropizzate, il prelievo da acque sorgentizie può essere trascurato.

5.3 STATO ATTUALE DELLE UTILIZZAZIONI DELLA RISORSA IDRICA SUPERFICIALE

5.3.1 Premessa

La valutazione delle portate antropizzate è stata effettuata a partire dalle portate medie annue naturali “corrette”, stimate come descritto nei paragrafi precedenti, e dalla analisi delle derivazioni superficiali e degli scarichi presenti nel territorio della Provincia di Sondrio.

5.3.2 Analisi dei dati sulle derivazioni e sugli scarichi

Le informazioni sulle piccole e grandi derivazioni superficiali sono state ricavate dal Catasto Utenze Idriche Regionale, in cui è riportato, oltre alla localizzazione delle piccole e grandi derivazioni, la portata media di concessione, la tipologia di utilizzazione, ecc. (v. Figura 43). Specificatamente per le derivazioni idroelettriche, si è fatto riferimento al database, più aggiornato rispetto al Catasto Utenze Idriche, prodotto nello studio “Montana - Progetto di riqualificazione dei corsi d’acqua: pianificazione delle risorse idriche con particolare riferimento agli impianti idroelettrici; Provincia di Sondrio, 2007”. Nel database Montana sono riportate le piccole e le grandi derivazioni idroelettriche esistenti e concesse, con i relativi dati caratteristici (portata media di concessione, portata massima di concessione ecc.). Tale database è stato poi completato con le nuove concessioni fino al 2008 (v. Figura 44). Ai fini della stima delle portate antropizzate qui descritta si è assunto che gli impianti concessi siano già entrati in funzione.

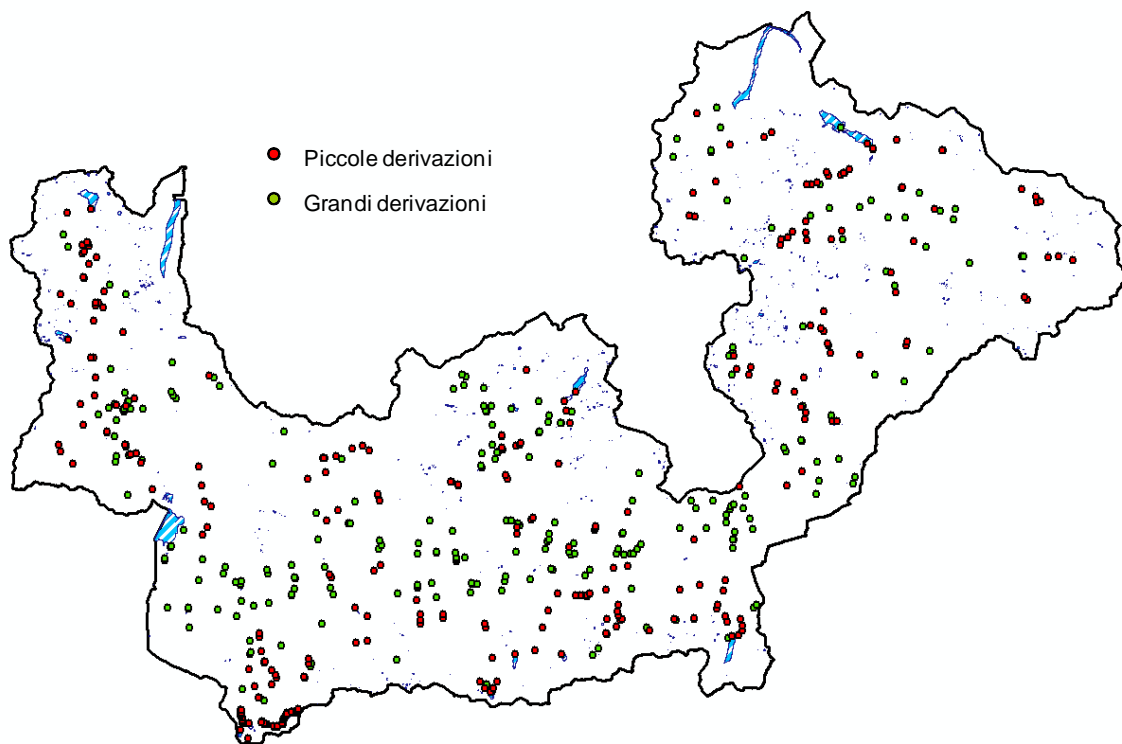


Figura 43 Carta delle derivazioni superficiali (Catasto Utenze Idriche).

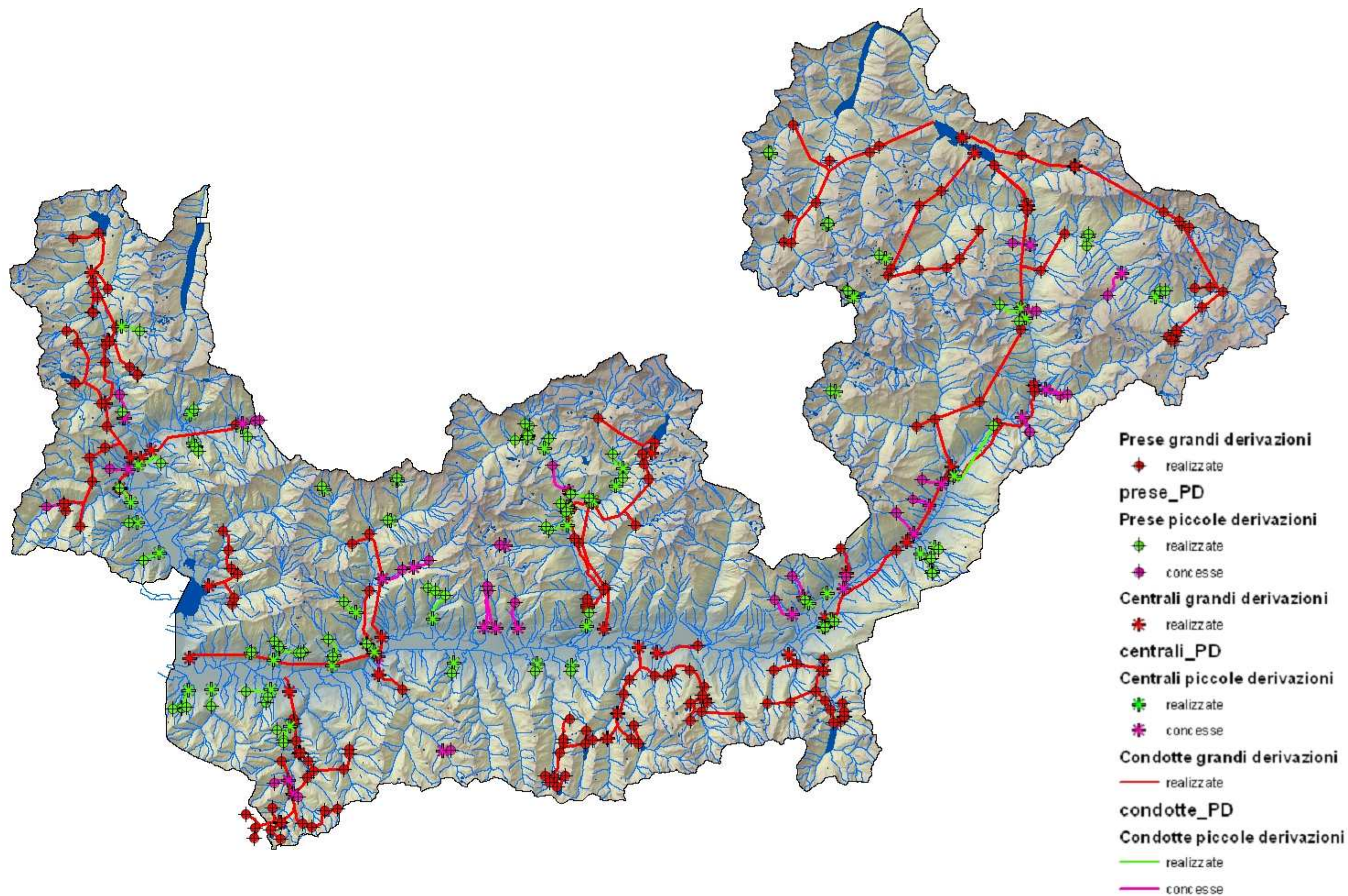


Figura 44. Carta di sintesi degli impianti idroelettrici esistenti o concessi al 2008 (aggiornamento al 2008 del catasto Studio Montana della Provincia di Sondrio).

Le informazioni sugli scarichi sono state desunte dai dati ARPA degli impianti di depurazione dei reflui civili e sulla base della loro localizzazione nel territorio (v. Figura 45).

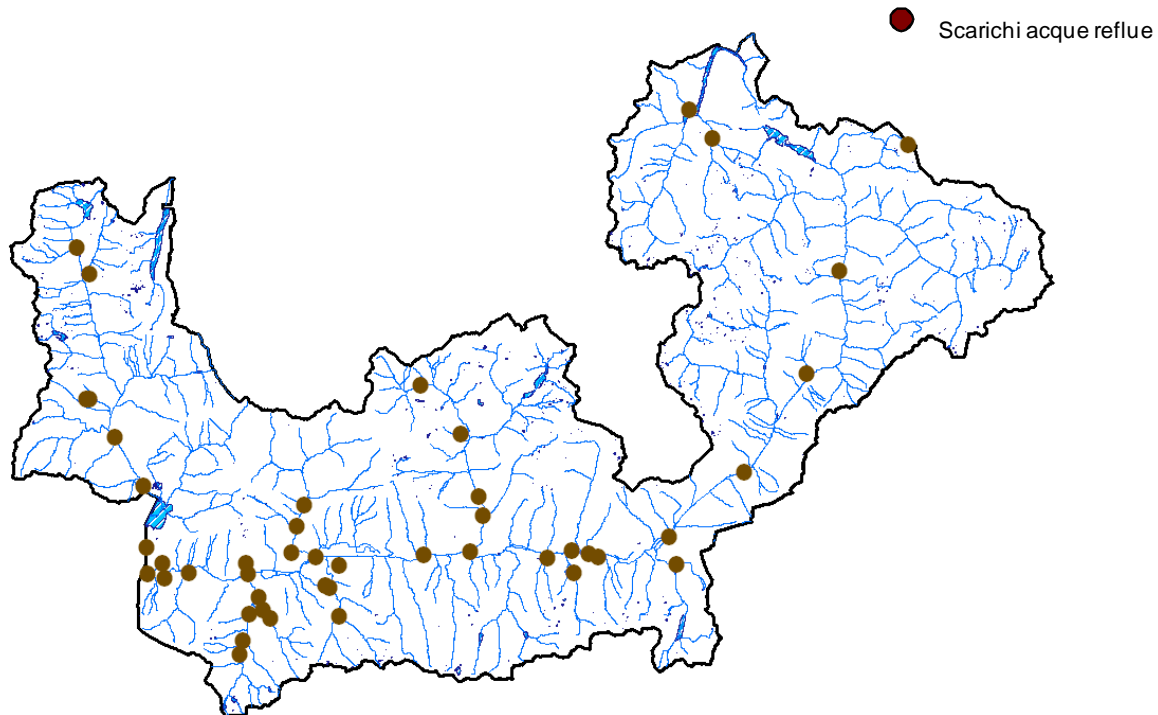


Figura 45. Carta degli scarichi di acque reflue urbane depurate (Provincia di Sondrio).

5.3.3 Stima delle portate derivate e scaricate

La metodologia adottata per la stima delle portate derivate dagli impianti idroelettrici si basa sul criterio di rispetto della normativa sul rilascio del deflusso minimo vitale (DMV). Le disposizioni in materia di DMV, contenute nel PTUA, prevedono che, entro il 31 dicembre 2008, tutte le derivazioni d'acqua insistenti sui corsi d'acqua naturali lombardi siano adeguate a garantire la presenza, a valle delle opere di presa, di una portata d'acqua minima, il DMV appunto, determinato ed applicato secondo le modalità ed i criteri stabiliti dal PTUA medesimo. Si è quindi ammesso che la portata media annua derivata dagli impianti idroelettrici sia pari al valore della portata media annua nella sezione di derivazione a meno della componente idrologica del DMV, calcolata secondo la normativa PTUA. L'art. 32 delle norme tecniche di attuazione del PTUA stabilisce tale componente in misura pari al 10% della portata naturale media annua nella sezione di derivazione, per tutti i corsi d'acqua della Regione Lombardia, con possibilità di aumento fino al 20 % in relazione all'applicazione dei fattori correttivi M, Z, A, T commisurati alle caratteristiche morfologiche, naturalistiche, di fruizione turistico – sociale, alla presenza di carichi inquinanti, all'interazioni tra acque superficiali e sotterranee e alla modulazione dell'arco dell'anno delle portate.

L'utilizzatore idroelettrico, per la finalità energetica a cui assolve, è incline al prelievo di tutta la risorsa idrica a sua disposizione. La metodologia basata esclusivamente sul rispetto del DMV giunge quindi ad una stima della portata derivata che in generale non si discosta molto dalla realtà. Inoltre fornisce un certo margine di "sicurezza" perché considera prelevata anche quella frazione della risorsa idrica che in realtà viene rilasciata durante gli sfiori o non viene affatto derivata, nei periodi in cui la portata supera la capacità "tecnica" dell'impianto.

Diversamente, gli utilizzatori non idroelettrici prelevano solamente la quantità di risorsa idrica necessaria ai loro scopi. Per tali usi si è, quindi, fatto riferimento ai dati di concessione desunti dal Catasto Utenze Idriche. Nella maggior parte dei casi la portata di concessione risulta inferiore rispetto alla portata naturale “corretta” stimata; nei rari casi in cui è risultata superiore si è imposto il criterio di rispetto della normativa sul rilascio del deflusso minimo vitale.

In altri termini, lo scenario qui delineato per le portate medie annue derivate - valutato ammettendo che le utilizzazioni idroelettriche derivino l'intera portata media annua disponibile nella sezione di derivazione a meno del DMV 10 %, mentre le utilizzazioni non idroelettriche derivino le portate di concessione (salvo i rari casi di concessioni maggiori alla portata media annua naturale per i quali si è assunto che le derivazioni derivino rispettando il DMV 10 %) – può definirsi a pieno titolo come uno scenario *di rischio* di derivazione, peraltro da ritenersi vicino alla realtà, dal momento che sono in numero assai limitato le derivazioni idroelettriche che attualmente derivano portate significativamente minori di quelle disponibili.

La portata scaricata dagli impianti di depurazioni reflui è stata stimata in funzione degli abitanti equivalenti totali serviti. Gli abitanti equivalenti totali, riportati nel database degli impianti di depurazione, sono stati calcolati sommando agli abitanti residenti, gli abitanti equivalenti industriali e i posti letto disponibili. Moltiplicando gli abitanti equivalenti totali per l'apporto pro-capite in fognatura si perviene alla stima della portata scaricata. Per la valutazione dell'apporto pro-capite in fognatura si è imposta una dotazione idrica di riferimento pari a 300 l/(ab giorno) e un coefficiente di apporto in fognatura pari all'80 %.

Inoltre si è stabilito di considerare trascurabile l'effetto delle portate prelevate dagli usi non idroelettrici e dalle portate scaricate dagli impianti di depurazione se esse risultano inferiori al 5% della portata media annua naturale “corretta” nella sezione. Per le derivazioni idroelettriche non è stata imposta alcuna soglia ossia sono state considerati tutti gli impianti, anche quelli per autoconsumo, ad esclusione degli impianti che prelevano e restituiscono nello stesso bacino ma al di fuori del reticolo SIBCA e che quindi non influenzano le portate sul reticolo medesimo.

5.3.4 Stima delle portate medie annue superficiali antropizzate

Il territorio in esame, caratterizzato da un rilevante e complesso sistema di derivazioni e restituzioni idroelettriche, ha reso particolarmente complessa la stima della portata antropizzata per l'intero reticolo SIBCA. L'influenza delle derivazioni non idroelettriche e degli scarichi degli impianti di depurazione è invece trascurabile rispetto al grado di antropizzazione prodotto dalle derivazioni idroelettriche. Difatti il numero delle derivazioni non idroelettriche e degli scarichi è decisamente inferiore rispetto alle derivazioni idroelettriche; inoltre i casi in cui le portate prelevate per uso non idroelettrico e le portate scaricate dagli impianti di depurazione superano la soglia imposta del 5% della portata media annua naturale “corretta” sono estremamente limitati.

Le prese e le restituzioni possono ricadere all'interno di un qualsiasi tratto elementare del reticolo SIBCA adottato per le elaborazioni. Utilizzando la discretizzazione SIBCA, la portata derivata/restituita, calcolata con la metodologia illustrata al paragrafo precedente, è stata sottratta/aggiunta al tratto elementare del reticolo SIBCA in cui ricade la presa/restituzione.

In taluni casi, in cui la presa/restituzione è localizzata nell'ultima estremità di valle del tratto elementare, la portata derivata/restituita è stata sottratta/aggiunta al tratto successivo rispetto al tratto in cui ricade la presa/restituzione. Inoltre se sul medesimo tratto elementare insistono

due o più prese idroelettriche si ripartisce in modo equo la portata derivata ad ogni presa, in modo che nel tratto sia garantito il 10% della portata media annua naturale “corretta”.

Tali semplificazioni comportano sia una dilatazione dei tratti antropizzati sia una loro riduzione rispetto alla reale condizione, producendo un errore complessivo che tende ad annullarsi. Inoltre il singolo tratto in più o in meno è di lunghezza trascurabile visto che rappresenta una frazione di un tratto elementare che di per sé è già molto breve.

In Figura 46 viene riportata la distribuzione lungo il reticolo idrografico del rischio indotto dalle derivazioni rispetto alla portata media annua naturale. Precisamente viene indicato il

rapporto $I_{media,antr} = \frac{Q_{media,antr}}{Q_{media,nat}}$ tra la stima della portata media annua antropizzata, valutata con

i criteri esposti nel paragrafo precedente, e la portata naturale media annua “corretta”. Il rapporto $I_{media,antr}$ rappresenta pertanto un indice del rischio di criticità nei riguardi delle portate medie annue antropizzate.

Nella rappresentazione del reticolo antropizzato si possono osservare tratti caratterizzati da un diverso grado di antropizzazione. Come esposto più dettagliatamente nel cap. 6, le classi di rischio di criticità adottate per caratterizzare il grado di antropizzazione sono le seguenti:

- per $I_{media,antr} = 10\%$, criticità molto elevata (tratti rossi);
- per $10\% \leq I_{media,antr} \leq 20\%$, criticità elevata (tratti arancioni);
- per $20\% \leq I_{media,antr} \leq 35\%$, media criticità (tratti gialli);
- per $35\% \leq I_{media,antr} < 100\%$, moderata criticità (tratti verdi);
- per $I_{media,antr} \geq 100\%$, nessuna criticità (tratti blu).

I tratti non critici sono i tratti naturali e quelli antropizzati in cui la portata disponibile è maggiore o uguale alla portata naturale.

La presenza di una derivazione rende il tratto elementare a criticità variabile a seconda della portata derivata rispetto alla portata naturale. Nel caso di derivazione idroelettrica, a seguito della metodologia adottata che assume che la portata rilasciata in alveo sia pari al 10% della portata naturale “corretta”, rende il tratto elementare, in cui insiste l’opera di presa, a criticità molto elevata. I tratti subito a valle della derivazione sono caratterizzati da criticità che via via tende a diminuire per l’effetto dell’incremento della portata presente a valle della presa proveniente o dal reticolo idrografico (ivi compreso l’interscambio con il sottosuolo) o dalle restituzioni. Tanto maggiore è la portata immessa dalle restituzioni, o dagli affluenti a valle della presa o formatasi nell’interbacino, tanto più forte è la riduzione della criticità.

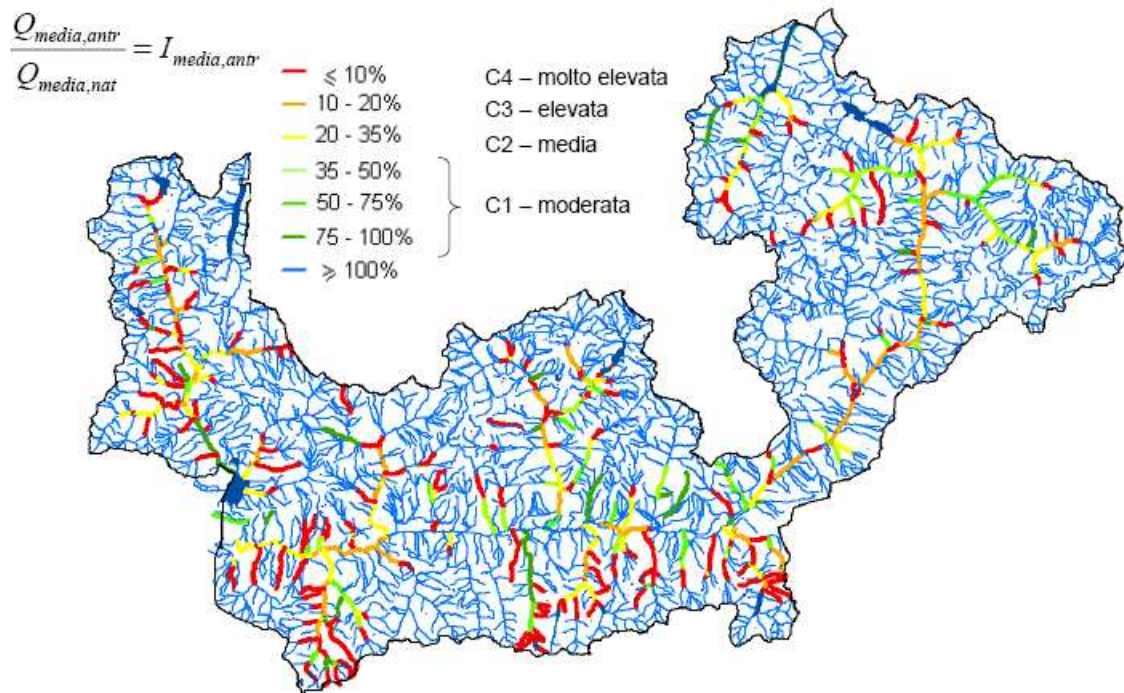


Figura 46. Carta delle portate medie annue antropizzate e loro classificazione in base al rapporto tra portate antropizzate e portate naturali.

5.3.5 Stima delle portate medie annue antropizzate di magra

Le derivazioni idriche e la conseguente valutazione delle portate antropizzate, la cui stima effettuata nel paragrafo precedente è riferita alle portate medie annue, determinano sottrazioni idriche che conducono ad ancora più forti criticità nei periodi di magra.

È quindi utile effettuare una nuova elaborazione delle portate residue nel reticolo idrografico in condizioni antropizzate adottando i medesimi criteri prima esposti per la stima delle portate residue a valle delle restituzioni, ma tenendo ora conto della presenza negli alvei delle sole portate di deflusso di base di cui al Cap. 4 e alla cartografia di Figura 36.

Ciò significa che, mantenendo l'ipotesi precedentemente adottata che le opere di derivazione rispettino le norme sul DMV, si ammette ora che a valle della derivazione la portata residua (portata media annua antropizzate di magra) sia pari:

- al 10 % della media annua naturale, nelle fasi in cui sono disponibili in alveo portate di magra maggiori di tale 10 %;
- alla portata di magra presente in alveo, nelle fasi in cui, essendo la portata disponibile inferiore a tale 10 %, la derivazione non sia attiva.

Riprendendo quindi i valori del deflusso di base della carta di Figura 36 e calcolando nel modo detto l'influenza delle opere di derivazione, si sono calcolati i valori della portata media annua di magra antropizzata per ogni tratto del reticolo. La carta riportata nella seguente Figura 47 riporta tali valori in rapporto alla rispettiva portata media annua naturale; tale carta presenta pertanto la classificazione dei vari rami del reticolo in funzione dell'indicatore:

$$I_{magra,antr} = \frac{Q_{magra,antr}}{Q_{nat}}$$

Il rapporto $I_{magra,antr}$ rappresenta pertanto un indice del rischio di criticità nei riguardi delle portate medie annue antropizzate di magra. Ovviamente, questa configurazione di magra antropizzata presenta portate in alveo ben inferiori a quelle di Figura 46 riferite alla configurazione media annua antropizzata.

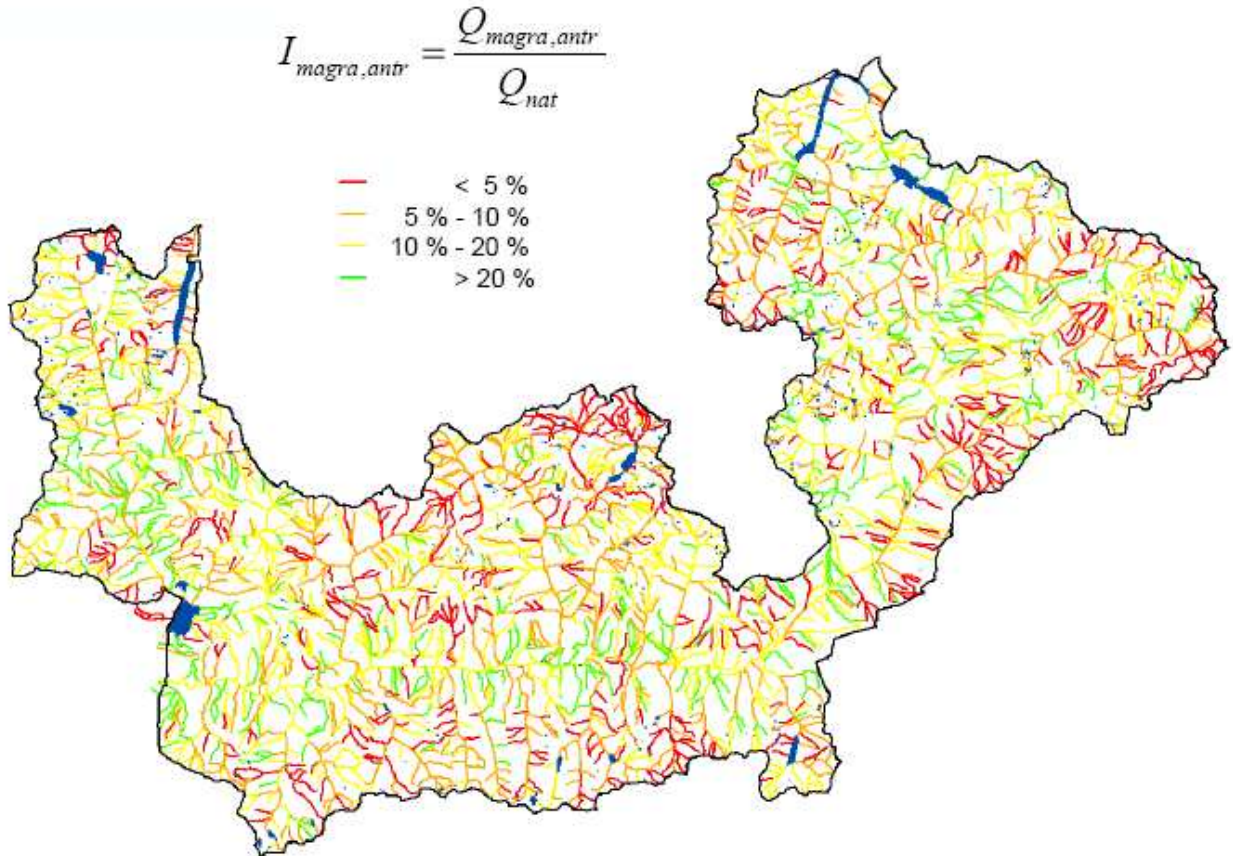


Figura 47. Carta delle portate medie annue antropizzate di magra e loro classificazione in rapporto alle portate medie annue naturali.

6. INDICI DI CRITICITÀ QUANTITATIVA DELLA RISORSA IDRICA SUPERFICIALE

6.1 PREMESSA

Come già esposto l'utilizzazione idrica globale è molto spinta in Provincia di Sondrio e determina situazioni di carenza idrica assai pronunciate soprattutto nei periodi di magra invernali ed estivi.

In particolare, con le valutazioni descritte nei precedenti capitoli si sono definite le disponibilità di risorsa idrica in tutti i corsi d'acqua della Provincia di Sondrio in condizioni naturali (le valutazioni hanno riguardato i valori sia di portata media annua che di deflusso di base, come indice medio delle portate di magra) e in condizioni antropizzate, riferite alla media annua.

Ciò consente di giungere ad una rappresentazione distribuita assai significativa per i differenti aspetti critici ritenuti significativi, attraverso l'individuazione di "indici di criticità" atti a classificare quantitativamente i livelli di criticità dei differenti aspetti di interesse. Naturalmente l'adozione di scale di classificazione degli indicatori contiene sempre un margine di soggettività e pertanto esse non possono che considerarsi come uno strumento di supporto, peraltro assai utile, sia per la valutazione dello stato di fatto che per l'adozione delle misure di piano.

In termini generali gli indici di criticità, separatamente o in combinazione reciproca, possono infatti offrire le seguenti opportunità:

- consentire di rappresentare la mappatura distribuita di classi di criticità dell'intero reticolo idrografico provinciale;
- consentire di rappresentare la mappatura distribuita delle risorse idriche non derivabili o non ulteriormente derivabili;
- costituire uno strumento di supporto per le decisioni in materia di regolamentazione delle concessioni in atto o future;
- costituire uno strumento di supporto per la definizione della normativa di piano inerente lo sfruttamento delle risorse idriche.

Per ciò che concerne le criticità inerenti gli aspetti quantitativi (le criticità inerenti la qualità delle acque e degli ecosistemi fluviali sono trattate nel cap. 7) sono qui assunti i seguenti indici che, sulla base delle analisi condotte nei Capitoli 3, 4, 5, rappresentano il livello di rischio legato al grado di sfruttamento/penalizzazione dei corsi d'acqua:

- indice rappresentativo delle portate derivate per i diversi usi I_{der} per settori del territorio provinciale;
- indici rappresentativi delle lunghezze e delle portate antropizzate dei corsi d'acqua sottesi dagli impianti idroelettrici $I_{L,Q}$ e I_L per settori del territorio provinciale;
- indice $I_{media, antr}$ della portata media annua antropizzata rappresentativo, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio indotto dalle derivazioni rispetto alla portata media annua naturale;
- indice $I_{magra, antr}$ della portata media annua antropizzata di magra rappresentativo, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio indotto dalle derivazioni rispetto alla portata media annua naturale di magra;

- indice I_{serb} rappresentativo per ogni tratto del reticolo idrografico del rischio di irregolarità indotto dai serbatoi artificiali sul regime dei corsi d'acqua;
- indice rappresentativo del livello di sfruttamento idroelettrico in termini di energia prodotta.

Naturalmente la caratterizzazione complessiva del rischio di criticità deve derivare da un'analisi multi-criterio di tutti i diversi aspetti coinvolti, in particolare quelli rappresentativi dei caratteri fisico-naturalistici (caratteri idrogeomorfologici, ambientali, ecologici), del paesaggio e della fruizione dell'ambiente fluviale, nonché della qualità delle acque in relazione all'impatto antropico.

Pertanto nel presente capitolo vengono analizzati separatamente i diversi aspetti di criticità quantitativa qui avanzati, mentre la valutazione del rischio complessivo di criticità viene analizzata nel capitolo 8.

6.2 INDICE RAPPRESENTATIVO DELLE PORTATE DERIVATE PER I DIVERSI USI PER SETTORI DEL TERRITORIO PROVINCIALE

Un primo indice I_{der} a carattere globale, utile per rappresentare il livello di derivazione della risorsa idrica superficiale, può calcolarsi con la semplice somma delle portate medie di concessione derivate per i diversi usi dai corsi d'acqua situati all'interno di un determinato bacino, in rapporto alla portata media annua naturale disponibile nella sezione di chiusura del bacino stesso.

Naturalmente il valore dell'indice I_{der} può risultare anche ben superiore al 100 % nei bacini in cui sussistono successioni in serie di impianti che derivano e restituiscono la stessa risorsa. Pertanto, la rappresentatività di tale indice dipende dalla scala territoriale a cui esso viene riferito.

Una sua prima valutazione è stata condotta globalmente per i due maggiori bacini idrografici della Provincia di Sondrio, e cioè l'intero bacino della Valtellina chiuso alla sezione di Adda a Fuentes e il bacino della Val Chiavenna chiuso alla sezione del Mera allo sbocco nel Lago di Como.

Nel calcolo sono state considerate tutte le derivazioni classificate nel database CUI (Catasto Utilizzazioni Idriche della Regione Lombardia) con pratica attiva, scaduta, scaduta senza rinnovo, attiva/ Esonero Canone.

Elaborando i corrispondenti dati si ottengono i risultati riportati nelle seguenti tabelle (Tabella 10 e Tabella 11):

| VALTELLINA - Bacino Adda a Fuentes (2568.9 km ²) | | | | | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 84941 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | igienico | industriale | irriguo | piscicoltura | potabile | produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 775 | 0 | 0 | 161761 |
| piccole derivazioni | 89 | 56 | 362 | 77 | 2150 | 191 | 112 | 11724 |
| totali | 89 | 56 | 362 | 77 | 2925 | 191 | 112 | 173485 |
| Indice I_{der} | 0.10% | 0.07% | 0.43% | 0.09% | 3.44% | 0.22% | 0.13% | 204.24% |

Tabella 10. Portate derivate per i diversi usi in Valtellina e corrispondente indice I_{der} .

| VALCHIAVENNA - Bacino Mera al lago di Como (717.9 km ²) | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 33141 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | igienico | industriale | irriguo | piscicoltura | potabile | produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50552 |
| piccole derivazioni | 2 | 0 | 3 | 0 | 546 | 173 | 0 | 16377 |
| totali | 2 | 0 | 3 | 0 | 546 | 173 | 0 | 66929 |
| Indice I_{der} | 0.01% | 0.00% | 0.01% | 0.00% | 1.65% | 0.52% | 0.00% | 201.95% |

Tabella 11. Portate derivate per i diversi usi in Val Chiavenna e corrispondente indice I_{der} .

Come si può osservare l'uso idroelettrico è assolutamente preponderante rispetto agli altri usi, che derivano complessivamente modeste frazioni della risorsa disponibile. Le derivazioni idroelettriche, al contrario, ammontano a più del 200 % della risorsa naturale.

L'uso idroelettrico, peraltro, pur essendo quantitativamente assai pesante, genera sottrazioni di risorsa idrica solo nei tratti fluviali sottesi dalle condotte di derivazione e non nei tratti posti a valle delle restituzioni ove è di nuovo presente la risorsa derivata. Ciò significa, ad esempio, che nelle due sezioni Adda a Fuentes e Mera a Lago di Como, di cui alle precedenti tabelle, tutta la risorsa media annua utilizzata per l'uso idroelettrico all'interno dei rispettivi bacini è integralmente restituita. L'indice I_{der} prima calcolato quindi non costituisce un indicatore della decurtazione di risorsa idrica, che a livello globale in tali due bacini non sussiste, ma è un indicatore indiretto del livello di presenza impiantistica che con successive prese e restituzioni determinano una più o meno rilevante antropizzazione dei corsi d'acqua del bacino. In altri termini, l'indice di cui trattasi non è indice di tipo distribuito, ma globale e rappresenta solo indirettamente, ma efficacemente, il livello di antropizzazione.

Volendo peraltro dettagliare il valore di tale indice per diverse macro zone della Valtellina e della Val Chiavenna, al fine di rilevarne i diversi livelli di derivazione ivi presenti, il medesimo calcolo è stato ripetuto per i 18 settori qui indicati e riportati nella Figura 48. La suddivisione del territorio provinciale è stata effettuata considerando i sottobacini degli

affluenti principali afferenti alle aste principali dell'Adda e del Mera (ad esempio i sottobacini Mallero, Masino ecc.) nonché i settori che raggruppano i sottobacini captati da un unico sistema idroelettrico (come ad esempio il settore: Tributari di sinistra Adda tra Tresenda e Sondrio).

| | |
|----|---|
| 1 | Spol |
| 2 | Valle di Cancano |
| 3 | Frodolfo |
| 4 | Val Grosina |
| 5 | Tributari Adda da Bormio e Tresenda |
| 6 | Tributari di sinistra Adda tra Tresenda e Sondrio |
| 7 | Tributari di destra Adda tra Tresenda e Sondrio |
| 8 | Mallero |
| 9 | Tributari di sinistra Adda a valle di Sondrio |
| 10 | Tributari di destra Adda a valle di Sondrio |
| 11 | Tartano e limitrofi |
| 12 | Masino |
| 13 | Bitto |
| 14 | Liro |
| 15 | Codera - Ratti |
| 16 | Mera |
| 17 | Reno di Lei |
| 18 | Tributari Adda da Morbegno a Fuentes |



Figura 48. Suddivisione del territorio provinciale in settori.

I risultati ottenuti sono indicati nella seguente Tabella 12 e riassunti in Figura 49.

| SPOL (247.7 km ²) | | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 5946 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | Igienico | Industriale | Irriguo | Piscicoltura | Potabile | Produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2854 |
| piccole derivazioni | 0 | 0 | 0 | 28 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| totali | 0 | 0 | 0 | 28 | 0 | 0 | 0 | 2863 |
| Indice I_{der} | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.46% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 48.15% |

| VALLE DI CANCANO (237.5 km ²) | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 6116 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | Igienico | Industriale | Irriguo | Piscicoltura | Potabile | Produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6870 |
| piccole derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 |
| totali | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6884 |
| Indice I_{der} | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 112.54% |

| FRODOLFO (224.7 km ²) | | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 5632 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | Igienico | Industriale | Irriguo | Piscicoltura | Potabile | Produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | n.d. |
| piccole derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110 |
| totali | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110 |
| Indice I_{der} | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 1.95% |

Tabella 12. Portate derivate per i diversi usi nei settori considerati e corrispondente indice I_{der} .

| VAL GROSINA (149.7 km ²) | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 4687 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | Igienico | Industriale | Irriguo | Piscicoltura | Potabile | Produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | n.d. |
| piccole derivazioni | 67 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| totali | 67 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| Indice I_{der} | 1.42% | 0.00% | 0.02% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.17% |

| TRIBUTARI ADDA DA BORMIO A TRESEDA (555.6 km ²) | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 15884 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | Igienico | Industriale | Irriguo | Piscicoltura | Potabile | Produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 26290 |
| piccole derivazioni | 0 | 11 | 2 | 0 | 1298 | 8 | 0 | 5412 |
| totali | 0 | 11 | 2 | 0 | 1298 | 8 | 0 | 31702 |
| Indice I_{der} | 0.00% | 0.07% | 0.01% | 0.00% | 8.17% | 0.05% | 0.00% | 199.58% |

| TRIBUTARI DI SINISTRA ADDA TRA TRESEDA E SONDRIO (215.3 km ²) | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 11498 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | Igienico | Industriale | Irriguo | Piscicoltura | Potabile | Produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5237 |
| piccole derivazioni | 2 | 0 | 7 | 0 | 109 | 80 | 51 | 0 |
| totali | 2 | 0 | 7 | 0 | 109 | 80 | 51 | 5237 |
| Indice I_{der} | 0.02% | 0.00% | 0.06% | 0.00% | 0.95% | 0.70% | 0.44% | 45.55% |

(continua) Tabella 12. Portate derivate per i diversi usi nei settori considerati e corrispondente indice I_{der}

| TRIBUTARI DI DESTRA ADDA TRA TRESEDA E SONDRIO (149.3 km ²) | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 4740 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | Igienico | Industriale | Irriguo | Piscicoltura | Potabile | Produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 775 | 0 | 0 | 0 |
| piccole derivazioni | 12 | 23 | 94 | 0 | 19 | 45 | 0 | 230 |
| totali | 12 | 23 | 94 | 0 | 794 | 45 | 0 | 230 |
| Indice I_{der} | 0.25% | 0.47% | 1.99% | 0.00% | 16.75% | 0.95% | 0.00% | 4.84% |

| MALLERO (323.3 km ²) | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 11284 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | Igienico | Industriale | Irriguo | Piscicoltura | Potabile | Produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23407 |
| piccole derivazioni | 0 | 0 | 86 | 45 | 3 | 38 | 37 | 3155 |
| totali | 0 | 0 | 86 | 45 | 3 | 38 | 37 | 26562 |
| Indice I_{der} | 0.00% | 0.00% | 0.76% | 0.40% | 0.03% | 0.34% | 0.32% | 235.39% |

| TRIBUTARI DI SINISTRA ADDA A VALLE DI SONDRIO (61 km ²) | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 3344 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | Igienico | Industriale | Irriguo | Piscicoltura | Potabile | Produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| piccole derivazioni | 0 | 0 | 5 | 0 | 453 | 0 | 0 | 25 |
| totali | 0 | 0 | 5 | 0 | 453 | 0 | 0 | 25 |
| Indice I_{der} | 0.00% | 0.00% | 0.15% | 0.00% | 13.55% | 0.00% | 0.00% | 0.75% |

(continua) *Tabella 12. Portate derivate per i diversi usi nei settori considerati e corrispondente indice I_{der}*

| TRIBUTARI DI DESTRA ADDA A VALLE DI SONDRIO (87.9 km ²) | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 2960 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | Igienico | Industriale | Irriguo | Piscicoltura | Potabile | Produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| piccole derivazioni | 8 | 8 | 12 | 0 | 350 | 0 | 0 | 530 |
| totali | 8 | 8 | 12 | 0 | 350 | 0 | 0 | 530 |
| Indice I_{der} | 0.27% | 0.28% | 0.41% | 0.00% | 11.81% | 0.00% | 0.00% | 17.92% |

| TARTANO E LIMITROFI (75.7 km ²) | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 3148 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | Igienico | Industriale | Irriguo | Piscicoltura | Potabile | Produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | n.d. |
| piccole derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 52 |
| totali | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 52 |
| Indice I_{der} | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.32% | 0.00% | 0.00% | 1.65% |

| MASINO (149.5 km ²) | | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 5512 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | Igienico | Industriale | Irriguo | Piscicoltura | Potabile | Produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73310 |
| piccole derivazioni | 0 | 0 | 155 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1893 |
| totali | 0 | 0 | 155 | 3 | 0 | 0 | 0 | 75203 |
| Indice I_{der} | 0.00% | 0.00% | 2.81% | 0.05% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 1364.30% |

(continua) *Tabella 12. Portate derivate per i diversi usi nei settori considerati e corrispondente indice I_{der}*

| BITTO (96.4 km ²) | | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 4497 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | Igienico | Industriale | Irriguo | Piscicoltura | Potabile | Produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3255 |
| piccole derivazioni | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 254 |
| totali | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3509 |
| Indice I_{der} | 0.00% | 0.07% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 78.03% |

| LIRO (192.3 km ²) | | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 9377 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | Igienico | Industriale | Irriguo | Piscicoltura | Potabile | Produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34604 |
| piccole derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 268 |
| totali | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34872 |
| Indice I_{der} | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 371.87% |

| CODERA - RATTI (512.9 km ²) | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 32614 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | Igienico | Industriale | Irriguo | Piscicoltura | Potabile | Produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2288 |
| piccole derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| totali | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2288 |
| Indice I_{der} | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 7.02% |

(continua) Tabella 12. Portate derivate per i diversi usi nei settori considerati e corrispondente indice I_{der}

| MERA (227.3 km ²) | | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 19589 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | Igienico | Industriale | Irriguo | Piscicoltura | Potabile | Produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 41434 |
| piccole derivazioni | 2 | 0 | 3 | 0 | 546 | 173 | 0 | 16119 |
| totali | 2 | 0 | 3 | 0 | 546 | 173 | 0 | 57553 |
| Indice I_{der} | 0.01% | 0.00% | 0.02% | 0.00% | 2.79% | 0.88% | 0.00% | 293.79% |

| TRIBUTARI ADDA DA MORBEGNO A FUENTES (120.2 km ²) | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 8775 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | Igienico | Industriale | Irriguo | Piscicoltura | Potabile | Produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| piccole derivazioni | 0 | 11 | 0 | 1 | 7 | 20 | 24 | 14 |
| totali | 0 | 11 | 0 | 1 | 7 | 20 | 24 | 14 |
| Indice I_{der} | 0.00% | 0.13% | 0.00% | 0.01% | 0.08% | 0.23% | 0.27% | 0.16% |

(continua) **Tabella 12.** Portate derivate per i diversi usi nei settori considerati e corrispondente indice I_{der}

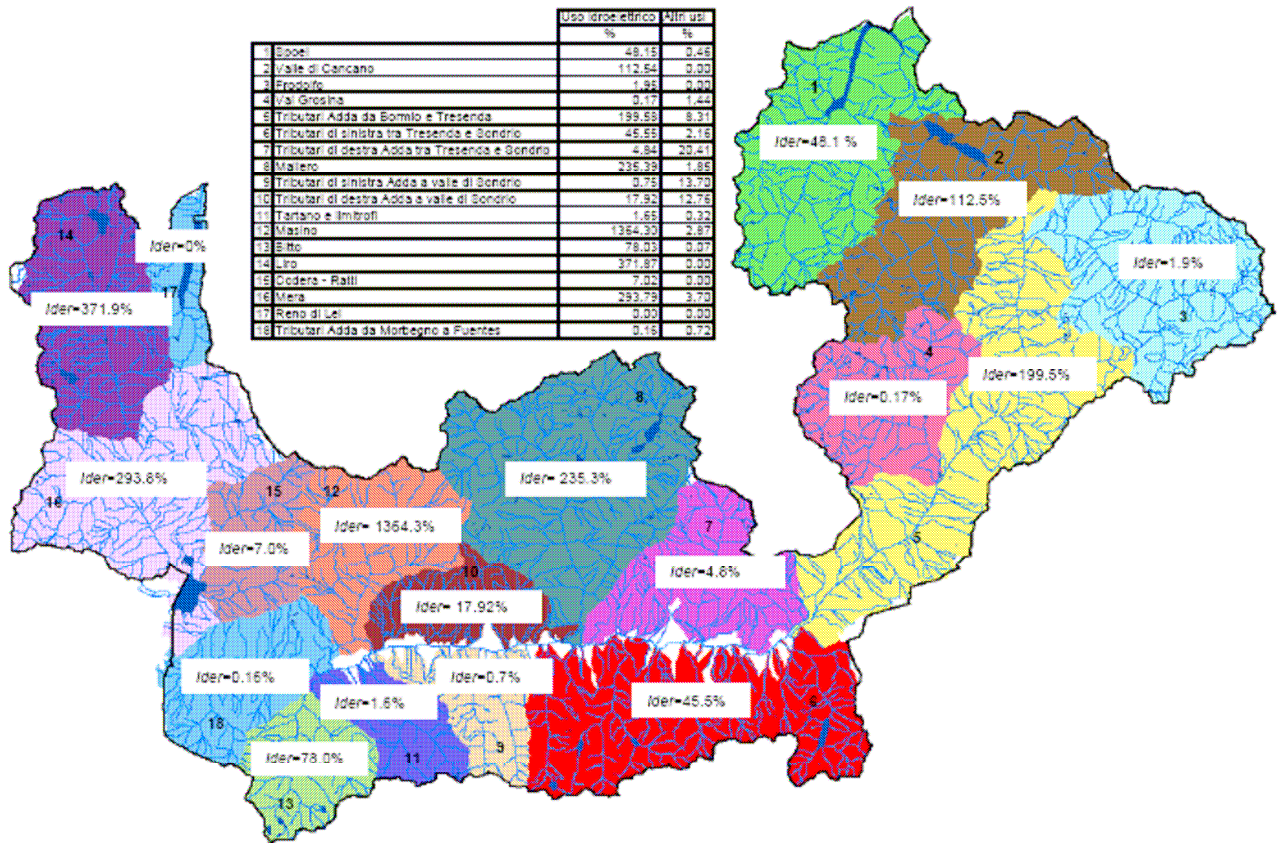


Figura 49. Carta dell'indice rappresentativo delle portate derivate I_{der} per i diversi usi per settori del territorio provinciale.

E' da osservare che, per come sono organizzati i dati del Catasto Regionale Utente Idriche, in alcuni casi non sono disponibili le portate di concessione di alcune prese e pertanto, pur in presenza di derivazioni, in diversi settori si ottengono valori dell'indice I_{der} pari a 0. Ad esempio, nel settore Frodolfo la portata di concessione per le grandi derivazioni idroelettriche risulta pari a 0, anche se è ben noto che esistono diverse opere di presa in tale bacino. Nei casi di assenza totale dei dati nelle tabelle è riportata la dicitura "n.d."; nei casi invece in cui i dati sono solo parzialmente noti l'indice indicato nelle tabelle è necessariamente affetto dalla medesima carenza. Le maggiori incertezze si sono riscontrate nei dati delle piccole derivazioni in cui manca l'informazione per il 25 % dei punti di presa.

Si sottolinea inoltre che le portate nominali di concessione non sempre definiscono le effettive portate prelevate e che quindi conducono ad una valutazione dell'indice di sfruttamento così definito che potrebbe discostarsi dalla reale situazione.

Un'altra incertezza legata alla tipologia di dato utilizzato è dovuta al fatto che per ogni impianto viene definito un unico valore della portata di concessione anche quando l'impianto è dotato di più punti di presa. Nel caso in cui i punti di presa si trovano in settori differenti, la valutazione dell'indice viene di fatto distorta. E' tuttavia possibile ovviare a tale inconveniente ridefinendo i settori territoriali in modo che ciascuno di essi contenga al suo interno tutti i punti di presa del singolo impianto. E' questo il caso dell'Alto Adda in cui è presente l'impianto AEM S.p.A. che possiede i punti di presa in più valli. Si è quindi proceduto all'eliminazione di tale distorsione calcolando l'indicatore per l'intero settore Alto Adda, conglobando i seguenti settori (v. Tabella 13):

- Spöl

- Valle di Cancano
- Frodolfo
- Val Grosina
- Tributari Adda da Bormio e Tresenda

Il risultato è riportato nella seguente tabella:

| ALTO ADDA (1415.2.3 km ²) | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Portata media annua | | | | | 38267 l/s | | | |
| portate di concessione [l/s] | | | | | | | | |
| Usi | Altro uso | Antincendio | igienico | industriale | irriguo | piscicoltura | potabile | produzione energia |
| grandi derivazioni | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36014 |
| piccole derivazioni | 67 | 11 | 3 | 28 | 1298 | 8 | 0 | 5553 |
| totali | 67 | 11 | 3 | 28 | 1298 | 8 | 0 | 41567 |
| Indice I_{der} | 0.17% | 0.03% | 0.01% | 0.07% | 3.39% | 0.02% | 0.00% | 108.62% |

Tabella 13. Portate derivate per il settore Alto Adda (sezione Adda a Tresenda) e corrispondente indice I_{der}

Come già rilevato l'indice I_{der} è un indice di tipo globale che rappresenta efficacemente il livello di antropizzazione di ciascun settore territoriale considerato. In particolare i valori prima indicati forniscono una rappresentazione assai eloquente dello sfruttamento idroelettrico presente sia in alcuni sottobacini (con punte di circa il 300% per il Mera, il 250% per il Mallero e di ben il 1360% per il Masino) sia per l'intero territorio provinciale che denuncia un valore di I_{der} pari a circa il 200%.

6.3 INDICE RAPPRESENTATIVO DEL RISCHIO DI CRITICITÀ INDOTTO DALLE DERIVAZIONI RISPETTO ALLE PORTATE MEDIE ANNUE NATURALI (PORTATE MEDIE ANNUE ANTROPIZZATE) PER OGNI TRATTO DEL RETICOLO IDROGRAFICO

Una rappresentazione della criticità indotta dalle derivazioni a carattere non di tipo globale ma distribuito, e quindi assai più vicina alle situazioni locali, è desumibile dalla valutazione precedentemente esposta (v. par. 5.3.4 e Figura 46) delle portate medie annue antropizzate $Q_{media,antr}$ in ogni tratto del reticolo SIBCA e della corrispondente stima del rischio di

riduzione $I_{media,antr} = \frac{Q_{media,antr}}{Q_{media,nat}}$ rispetto alle portate medie annue naturali $Q_{media,nat}$.

In proposito, la classificazione adottata per il livello $I_{media,antr}$, riportata nella Figura 46, corrisponde alla già ricordata classificazione di criticità adottata dall'Autorità di Bacino del F. Po nell'ambito del P.A.I. All'art. 47 al titolo III – attuazione dell'art. 8, comma 3, della L. 2 maggio 1990, n. 102 – delle norme di attuazione e nel relativo allegato 1 – Bilancio idrico per il sottobacino dell'Adda sopralacuale – vengono elencati i seguenti livelli di criticità:

- *C 1 - moderata, in cui il saldo idrico medio annuo, valutato nel bilancio idrico, è superiore alla portata con durata 182 giorni (è superiore al 35% della portata media annua);*
- *C 2 – media, in cui il saldo idrico medio annuo, valutato nel bilancio idrico, è compreso tra le portate di durata 182 e 274 giorni nell’anno medio;*
- *C 3 – elevata, in cui il saldo idrico medio annuo, valutato nel bilancio idrico, è compreso tra le portate di durata 274 e 355 giorni nell’anno medio (è compreso tra il 20% e il 10% della portata media annua);*
- *C 4 – molto elevata, in cui il saldo idrico medio annuo, valutato nel bilancio idrico, è inferiore alla portata di durata 355 giorni nell’anno medio;*

dove il saldo idrico è la differenza tra la portata naturale media annua e la somma algebrica delle portate derivate e restituite (medie di concessione) a monte delle sezioni considerate in tale ambito (per maggior dettagli v. cap. 2.4).

Le due classificazioni, quella qui adottata e indicata in Figura 46 e quella del PAI, sono riportate congiuntamente in Figura 50. Facendo riferimento alle due classi più critiche del PAI (criticità C_4 = molto elevata, corrispondente a $I_{media,antr} < 10\%$; criticità C_3 = elevata, corrispondente a $I_{media,antr} = 10\% \div 20\%$) la Figura 50 evidenzia chiaramente i tratti fluviali rispettivamente in colore rosso e arancione che lo stesso PAI indica come non suscettibili di grandi derivazioni, nonché gli ulteriori tratti del reticolo idrografico presentanti rischio di criticità o minore (tratti in colore giallo e verde) o nullo (tratti in colore azzurro).

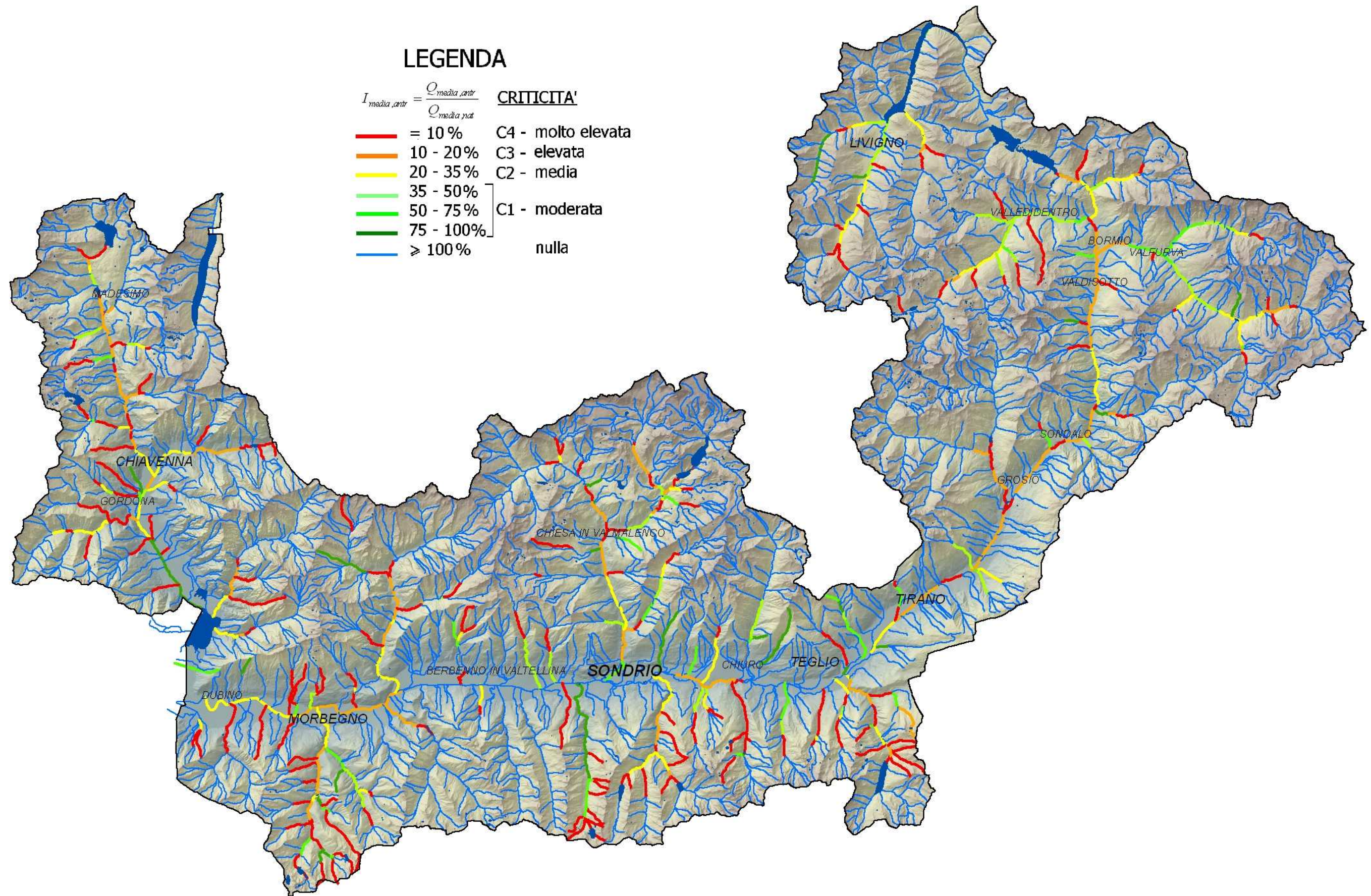


Figura 50. Carta dell'indice $I_{media, antr}$ della portata media annua antropizzata rappresentativa, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio indotto dalle derivazioni rispetto alla portata media annua naturale

È di interesse rimarcare che la grande parte dei tratti in colore azzurro (cioè i tratti in cui le portate medie annue sono tuttora non alterate dalle utilizzazioni)⁴ si riferiscono a piccoli o piccolissimi bacini. Se infatti si ricolorano in colore grigio tutti i tratti del reticolo compresi in bacini idrografici di superficie inferiore a 5 km² si evidenzia (Figura 51) come ben pochi corsi d'acqua afferenti a bacini maggiori di 5 km² siano in condizioni ancora naturali. In altri termini quasi la totalità dei corsi d'acqua “maggiori” sono già oggi derivati in misura più o meno spinta, mentre sussistono anche alcune derivazioni in bacini minori di 5 km².

Il fatto che la gran parte dei piccoli bacini inferiori a 5 km² siano tuttora esenti da derivazioni importanti, segnatamente quelle idroelettriche, è chiaramente legato al ridotto interesse produttivo e economico della modesta risorsa idrica disponibile in tali bacini. Assunto ad esempio come ordine di grandezza un valore medio annuo del contributo specifico pari a 40 l/s/km², un bacino di 5 km² produrrebbe una portata media annua di 200 l/s, invero molto modesta se si considera l'obbligo di rilascio del DMV fissato dalla normativa lombarda in un minimo di 50 l/s.

In effetti analizzando tutte le piccole e grandi derivazioni idroelettriche esistenti o già concesse del territorio provinciale si evidenzia come solo in pochi casi sussistano derivazioni in bacini inferiori a 5 km² e come tali casi siano in gran parte relativi a impianti dotati di canali derivatori alimentati da serie di prese torrentizie. In tal caso infatti la derivazione aggiuntiva anche di una piccola risorsa idrica non produce sostanziali aggravii impiantistici ed economici ed è quindi economicamente favorevole.

⁴ Si ricorda che i tratti blu non sono solo quelli naturali, ma anche quelli antropizzati in cui la portata restituita è maggiore o uguale alla portata naturale.

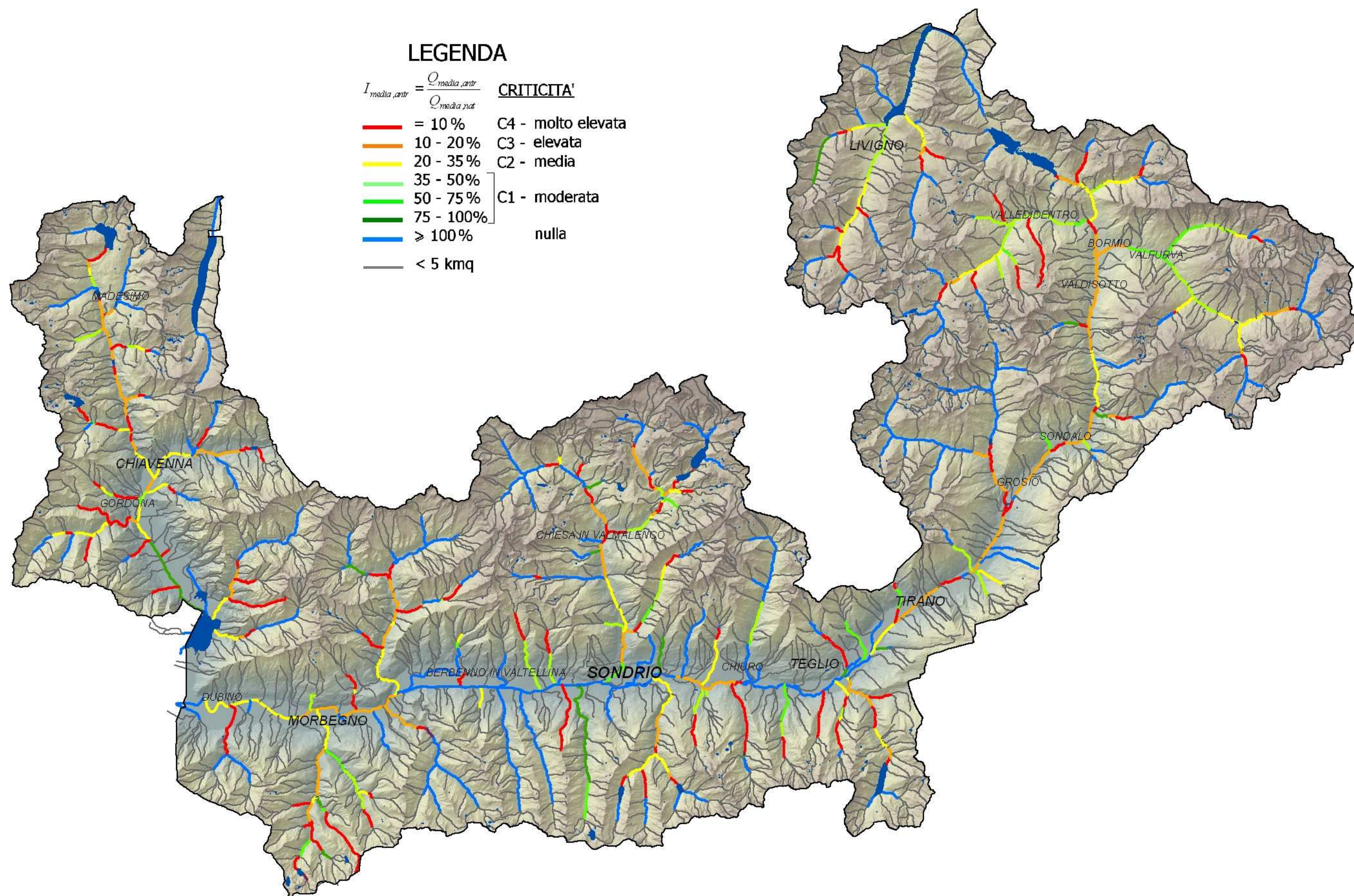


Figura 51. Carta dell'indice $I_{media, antr}$ della portata media annua antropizzata rappresentativa, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio indotto dalle derivazioni rispetto alla portata media annua naturale, con l'esclusione dei piccoli bacini di superficie < 5 km² (indicati con colore grigio). Questa figura è riprodotta anche nella Tav. 1 del Piano di Bilancio Idrico della Provincia di Sondrio.

Tenendo conto dei criteri di valutazione delle portate derivate indicati nel par. 5.3.3 - valutate ammettendo che le utilizzazioni idroelettriche derivino l'intera portata media annua disponibile nella sezione di derivazione a meno del DMV 10 %, mentre le utilizzazioni non idroelettriche derivino le portate di concessione (salvo i rari casi di concessioni maggiori alla portata media annua naturale per i quali si è assunto che le derivazioni derivino rispettando il DMV 10 %) – gli scenari descritti nelle carte di Figura 51 e Figura 52 sono da ritenersi come *scenari di rischio*, peraltro da ritenersi molto vicini alla realtà, e corrispondentemente l'indice $I_{media,antr}$ è da ritenersi propriamente come *indice di rischio di criticità* indotto dall'antropizzazione delle portate medie annue.

6.4 INDICE RAPPRESENTATIVO DELLE LUNGHEZZE E DELLE PORTATE ANTROPIZZATE DEI CORSI D'ACQUA SOTTESI DAGLI IMPIANTI IDROELETTRICI PER SETTORI DEL TERRITORIO PROVINCIALE

Le rappresentazioni distribuite della Figura 50 e della Figura 51 consentono di conoscere il livello $I_{media,antr}$ (nonché il livello C_i del P.A.I.) di penalizzazione locale presente in ogni tratto del reticolo, ma non conducono ad una valutazione di indicatori del livello di penalizzazione complessivo a scala di bacino o di macro area.

Si è quindi ritenuto opportuno adottare due indicatori di penalizzazione delle portate valutati per le stesse macro aree o bacini del territorio provinciale precedentemente indicati in Fig. 17.

I due indicatori adottati sono i seguenti:

- l'indice I_L dato dalla somma delle lunghezze $L_{N,i}$ dei tratti di reticolo “naturali”, in quanto non penalizzati, dalle derivazioni (e cioè tutti i tratti aventi colore azzurro di Figura 51) in rapporto alla somma totale delle lunghezze del reticolo e cioè la somma delle lunghezze $L_{A,i}$ dei corsi d'acqua sia penalizzati (“antropizzati”) che non penalizzati (“naturali”) $L_{N,i}$ della macro area in esame:

$$I_L = \frac{\sum_{i=1}^n L_{N_i}}{\sum_{i=1}^n L_{N_i} + \sum_{i=1}^n L_{A_i}}$$

In base a tale definizione l'indice I_L è compreso tra 0% e 100%: essendo pari a 0% nel caso di completa antropizzazione del reticolo di interesse ($L_{N_i} = 0$), ovvero pari a 100% nel caso di assenza completa di antropizzazioni ($L_{A_i} = 0$);

- l'indice $I_{L,Q}$ dato dalla somma delle lunghezze L_i di tutti i tratti di reticolo moltiplicate per il rispettivo livello $I_{media,antr i}$ di penalizzazione delle portate, in rapporto alla somma delle lunghezze L_i di tutti i corsi d'acqua della macro area in esame:

$$I_{L,Q} = \frac{\sum_{i=1}^n I_{media,antr i} \cdot L_i}{\sum_{i=1}^n L_i}$$

In base a tale definizione anche l'indice $I_{L,Q}$ è compreso tra 0% e 100%: essendo pari a 0% nel caso di massima penalizzazione del reticolo di interesse ($I_{media,antr i} = 0\%$), ovvero pari a 100% nel caso di assenza completa di antropizzazioni ($I_{media,antr i} = 100\%$).

È da sottolineare che entrambi gli indici si basano sulle lunghezze dei tratti penalizzati dalle derivazioni. Essi pertanto si ricollegano concettualmente a quelle normative che vincolano la

derivabilità di un corso d'acqua alla presenza di altri tratti già derivati a monte o valle nell'ambito del bacino di interesse.

In proposito si ricorda la D.G.R. 7/2604 dell'11 dicembre 2000 (abrogato dall'art.40 del Regolamento Regionale del 24 marzo 2006) che tra i vari indicatori utili per decidere sull'ammissibilità di una nuova derivazione includeva la valutazione della lunghezza dei tratti di corso d'acqua sottesi dalla nuova derivazione in esame⁵.

Così la recente normativa adottata dall'Autorità di Bacino del F. Magra, già richiamata nel par. 2.6.1, stabilisce che *“il tratto di alveo, di lunghezza pari alla distanza D tra l'opera di presa e la restituzione, posto a valle del punto di restituzione delle acque di una derivazione ad uso non irriguo deve restare, di norma, esente da derivazioni. Lo stesso criterio deve risultare rispettato anche per nuove derivazioni da realizzare a monte di una esistente. Qualora una delle due derivazioni abbia una portata massima derivabile superiore a 5.000 l/sec. la lunghezza di tale tratto va posta pari al doppio della distanza D tra l'opera di presa e la sua restituzione”*.

In sintesi, gli indicatori basati sulla semplice valutazione delle lunghezze dei tratti soggetti a riduzioni di portata sono assai utili per rappresentare il livello di penalizzazione presente in un assegnato bacino.

Il calcolo dei due indici è stato effettuato per tutte le citate 18 macro aree non considerando il reticolo compreso nei bacini di superficie minore di 5 km² prima citati. Essendo infatti la lunghezza totale del reticolo un numero teoricamente tendente all'infinito al crescere del dettaglio conoscitivo dei più remoti tratti montani, ciò che vanificherebbe le precedenti definizioni dei due indici, si è deciso di far riferimento al reticolo incluso nei bacini aventi superficie minima di 5 km².

I valori ottenuti sono riportati nelle seguenti tabelle:

⁵ La stessa Direttiva, in aggiunta alla valutazione della lunghezza dei corsi d'acqua sottesi, richiedeva la valutazione della percentuale di bacino già soggetta a captazioni, di qualunque tipo, con riferimento all'intero bacino imbrifero del corso d'acqua soggetto alla nuova captazione, fino alla sua confluenza con un corso d'acqua di ordine superiore.

| | | $I_{L,Q} = \frac{\sum_{i=1}^n I_{media,antri} \cdot L_i}{\sum_{i=1}^n L_i}$ | $I_L = \frac{\sum_{i=1}^n L_{Ni}}{\sum_{i=1}^n L_{Ni} + \sum_{i=1}^n L_{Ai}}$ |
|----|--|---|---|
| | | % | % |
| 1 | Spol | 63 | 43 |
| 2 | Valle di Cancano | 52 | 35 |
| 3 | Frodolfo | 58 | 36 |
| 4 | Val Grosina | 82 | 80 |
| 5 | Tributari Adda da Bormio e Tresenda | 47 | 30 |
| 6 | Tributari di sinistra Adda tra Tresenda e Sondrio | 45 | 21 |
| 7 | Tributari di destra Adda tra Tresenda e Sondrio | 78 | 60 |
| 8 | Mallero | 58 | 43 |
| 9 | Tributari di sinistra Adda a valle di Sondrio | 78 | 74 |
| 10 | Tributari di destra Adda a valle di Sondrio | 64 | 49 |
| 11 | Tartano e limitrofi | 81 | 78 |
| 12 | Masino | 55 | 42 |
| 13 | Bitto | 28 | 0 |
| 14 | Liro | 47 | 34 |
| 15 | Codera - Ratti | 52 | 41 |
| 16 | Mera | 50 | 26 |
| 17 | Reno di Lei | 100 | 100 |
| 18 | Tributari Adda da Morbegno a Fuentes | 45 | 31 |

Tabella 14. Valori degli indici I_L e $I_{L,Q}$ nei settori del territorio provinciale.

Nella Figura 52 è rappresentato l'indice I_L per tutti i settori del territorio provinciale.

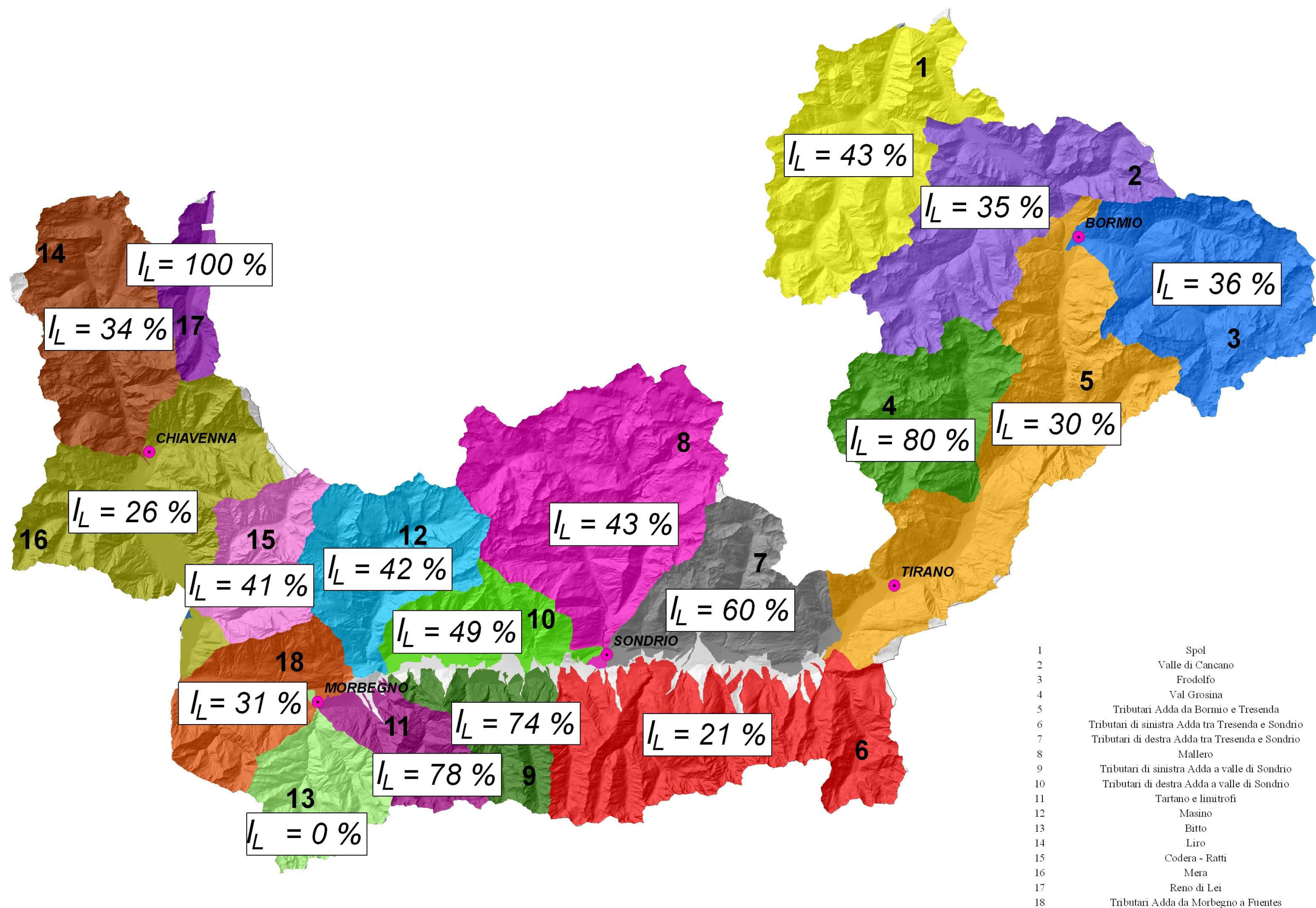


Figura 52. Indice I_L rappresentativo delle lunghezze dei corsi d'acqua non sottesi dagli impianti idroelettrici per settori del territorio provinciale. Questa figura è riprodotta anche nella Tav. 6 del Piano di Bilancio Idrico della Provincia di Sondrio.

Come si rileva, tutti i valori dell'indice I_L sono minori dei corrispondenti valori dell'indice $I_{L,Q}$. Ciò dipende dal fatto che nell'indice I_L sono considerati nulli tutti i tratti comunque antropizzati, indipendentemente dal rispettivo valore di $I_{media,antr}$, mentre nell'indice $I_{L,Q}$ tutti i tratti sono considerati con il rispettivo valore di $I_{media,antr}$. Emblematico è il caso del bacino del T. Bitto di Gerola, per il quale l'indice I_L è pari a zero, dal momento che l'intero reticolo, sempre escludendo i bacini $< 5 \text{ km}^2$, è soggetto a riduzioni di portata, mentre l'indice $I_{L,Q}$ è maggiore di zero, poiché i vari tratti del reticolo sono soggetti a variabili percentuali $I_{media,antr}$ di riduzione di portata.

La conoscenza del livello di penalizzazione complessiva di un bacino, misurata dal valore dei due indici, può consentire di emettere un giudizio di accettabilità o meno di nuove derivazioni qualora si individuino opportuni valori di "soglia" degli indici stessi.

Ad esempio, assumendo come validi i medesimi concetti della sopra richiamata normativa dell'Autorità di Bacino del F. Magra, si potrebbe assumere per l'indice I_L un valore di soglia pari al 50%; si potrebbero cioè considerare non ulteriormente derivabili i bacini in cui l'indice I_L risultasse inferiore al 50%, dal momento che tali bacini sarebbero già penalizzati dalle derivazioni esistenti per più del 50 % della lunghezza dei tratti del reticolo idrografico.

In base a tale scelta, osservando i dati della Tabella 14 nessun ulteriore derivazione potrebbe essere consentita sull'intero territorio provinciale tranne nei settori "Val grosina", "Tributari di destra Adda tra Tresenda e Sondrio", "Tributari di sinistra Adda a valle di Sondrio", "Tartano e limitrofi" e "Reno di Lei" che assumono valori dell'indice I_L superiori al 50%. Tali tre settori, peraltro, ricoprono meno del 7 % del territorio provinciale.

Se, anziché considerare le 18 macro aree prima indicate, si ricalcolano gli indici I_L e $I_{L,Q}$ per i bacini progressivamente sottesi dai due fiumi principali Adda e Mera, si ottengono i risultati della seguente tabella 13.

| | $I_{L,Q} = \frac{\sum_{i=1}^n I_{media,antr_i} \cdot L_i}{\sum_{i=1}^n L_i}$ | $I_L = \frac{\sum_{i=1}^n L_{Ni}}{\sum_{i=1}^n L_{Ni} + \sum_{i=1}^n L_{Ai}}$ |
|------------------------------------|--|---|
| <i>progressivi</i> | % | % |
| Adda a monte di Val Grosina | 51 | 33 |
| Adda a valle di Val Grosina | 57 | 42 |
| Adda a Tresenda | 56 | 40 |
| Adda a monte di Valmalenco | 57 | 41 |
| Adda a valle di Valmalenco | 57 | 42 |
| Adda a monte di Val Masino | 59 | 44 |
| Adda a valle di Val Masino | 59 | 44 |
| Adda a monte del Bitto | 60 | 45 |
| Adda a valle del Bitto | 58 | 42 |
| Adda a Fuentes | 57 | 42 |
| | | |
| Mera a monte Codera | 47 | 30 |
| Mera | 49 | 32 |

Tabella 15. Valori degli indici $I_{L,Q}$ e I_L per i bacini progressivamente sottesi dalle aste principali dell'Adda e del Mera.

Come si rileva, tale ricalcolo evidenzia come l'indice I_L sia sempre ben inferiore al 50% per tutti bacini progressivamente sottesi dall'Adda e dal Mera, confermando anche con questa rappresentazione l'intensità del livello di sfruttamento attuale.

E ancora, ricalcolando l'indice I_L per le sole aste principali dell'Adda e del Mera si ottengono valori ben inferiori al 50 % (37 % per l'asta dell'Adda e addirittura 0 % per l'asta del Mera) evidenziando con ciò che più della metà della lunghezza di tali aste è attualmente penalizzata da consistenti riduzioni di portata.

In conclusione si ritiene che gli indici $I_{L,Q}$ e I_L siano molto utili per la rappresentazione del grado di penalizzazione delle portate presente in tutti i tratti del reticolo idrografico provinciale. Soprattutto l'indice I_L appare utile, essendo legato al solo dato incontrovertibile delle lunghezze sottese dalle derivazioni.

Tuttavia il criterio di scelta dei valori soglia di I_L deve essere attentamente calibrato non solo rispetto alle caratteristiche dei singoli settori di territorio individuati per il suo calcolo, ma anche in relazione alla scala territoriale di applicazione. Infatti per uno stesso bacino l'indice I_L è differente se viene calcolato globalmente per il suo intero territorio, ottenendo quindi un valore medio che sintetizza l'insieme delle penalizzazioni di tutti i tratti fluviali compresi nel bacino, o se viene calcolato in modo distribuito tratto per tratto, ottenendo valori fortemente variabili tra 0% e 100% a seconda se si incontrano tratti completamente sottesi dalle derivazioni o tratti esenti da derivazioni.

Dopo attente considerazioni, ai fini di una migliore rappresentatività dell'indice, sembra preferibile riferirsi alla ripartizione dei prima citati settori del territorio provinciale, di cui alla Tabella 14, e non ai bacini progressivi sottesi da sezioni progressive lungo l'Adda e il Mera, di cui alla Tabella 15.

Per la scelta del valore di soglia da adottare per l'indice I_L è stata analizzata la variazione del numero dei settori derivabili e non derivabili al variare del valore di soglia. Si è assunto un range del valore di soglia tra 30% ÷ 60% con un passo del 5%. Di seguito sono riportate le carte dei settori provinciali in cui sono riportate in gradazioni di rosso i settori non derivabili e in gradazioni di blu i settori derivabili al variare del valore di soglia. Dall'analisi delle carte sembra corretta l'adozione di un valore di soglia pari a 40%. Con tale scelta i settori "Spol", "Val Grosina", "Tributari di destra Adda tra Tresenda e Sondrio", "Mallero", "Tributari di sinistra Adda a valle di Sondrio", "Tributari di destra Adda a valle di Sondrio", "Tartano e limitrofi", "Masino", "Codera – Ratti", "Reno di Lei", forniscono valori di $I_L > 40%$ e quindi potrebbero, considerando solo tale indice e non le altre criticità più oltre descritte, presentare la possibilità di nuove derivazioni.

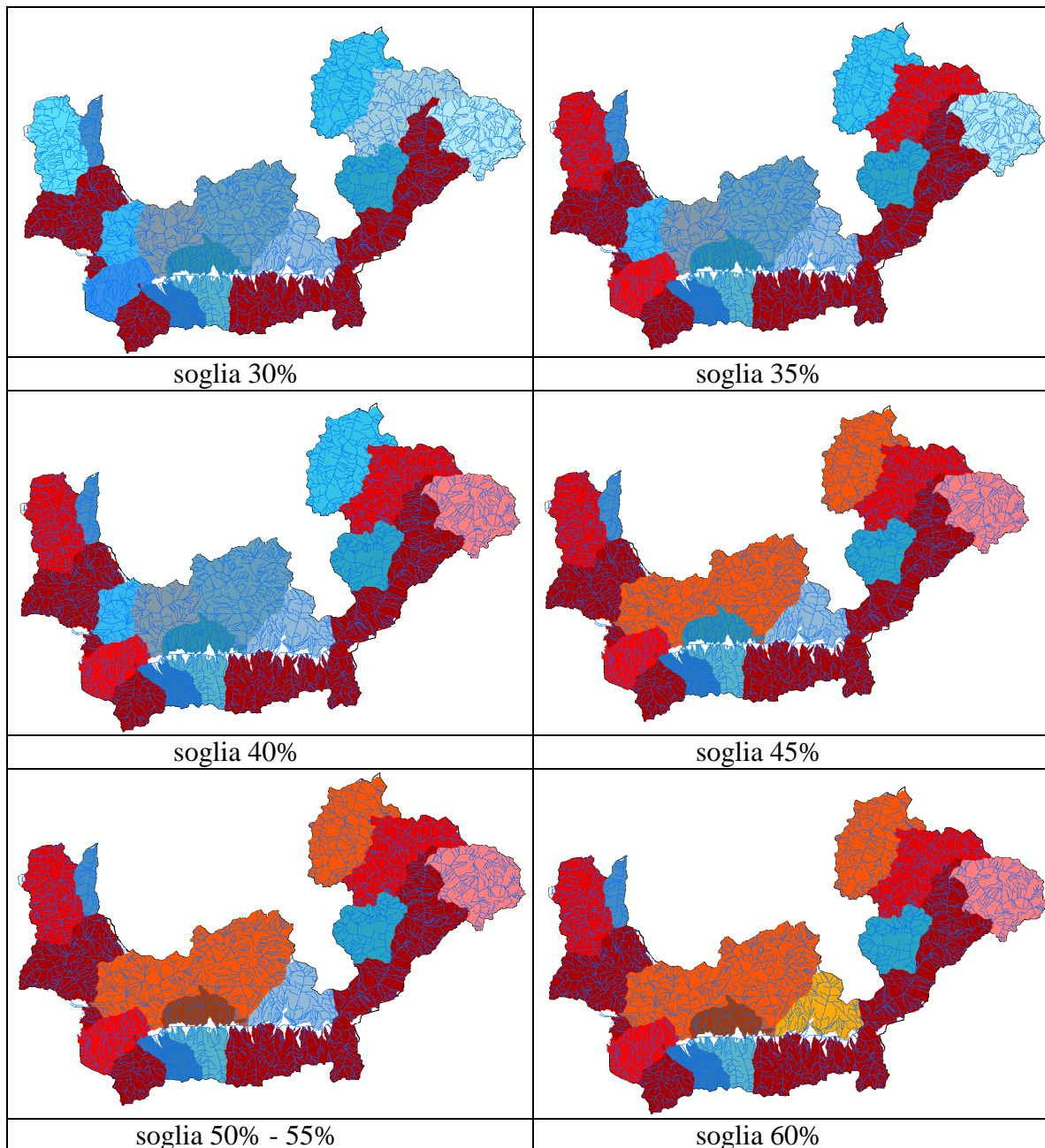


Figura 53. Analisi del valore di soglia da attribuire all'indice I_1

In aggiunta all'adozione del detto indice riferito ai diversi settori territoriali, appare opportuno sottolineare la particolare situazione delle aste principali dell'Adda e del Mera, per le quali come già detto l'indice I_L è molto basso e per le quali sembra quindi assolutamente inopportuna qualsiasi ulteriore derivazione d'acqua.

6.5 INDICE RAPPRESENTATIVO DELLE PORTATE MEDIE ANNUE NATURALI DI MAGRA PER OGNI TRATTO DEL RETICOLO IDROGRAFICO

Come già esposto nel cap. 4, la modellizzazione del deflusso fluviale di base medio annuo naturale rappresenta di per sé un indicatore della portata di base di ciascuna asta torrentizia, rappresentativo delle condizioni medie di magra (invernale o estiva) del corso d'acqua

considerato. I valori del deflusso di base sono visualizzati nella carta (v. Figura 36) già presentata.

Tale valutazione fornisce quindi un indicatore molto importante di criticità delle situazioni di stress idrico naturale e quindi della sensibilità del corso d'acqua all'impatto derivante o da derivazioni o da scarichi di acque reflue grezze o trattate.

Per cogliere in modo più diretto l'influenza di tale indicatore sono stati calcolati per ogni tratto del reticolo SIBCA i rapporti tra il deflusso naturale di base e il deflusso naturale medio annuo naturale. La carta riportata in Figura 54, riprendendo quindi i valori del deflusso di base della carta di Fig. 13, riporta tali valori in rapporto alla rispettiva portata media annua naturale; tale carta presenta pertanto la classificazione dei vari rami del reticolo in funzione dell'indicatore:

$$I_{magra,nat} = \frac{Q_{magra,nat}}{Q_{media,nat}}$$

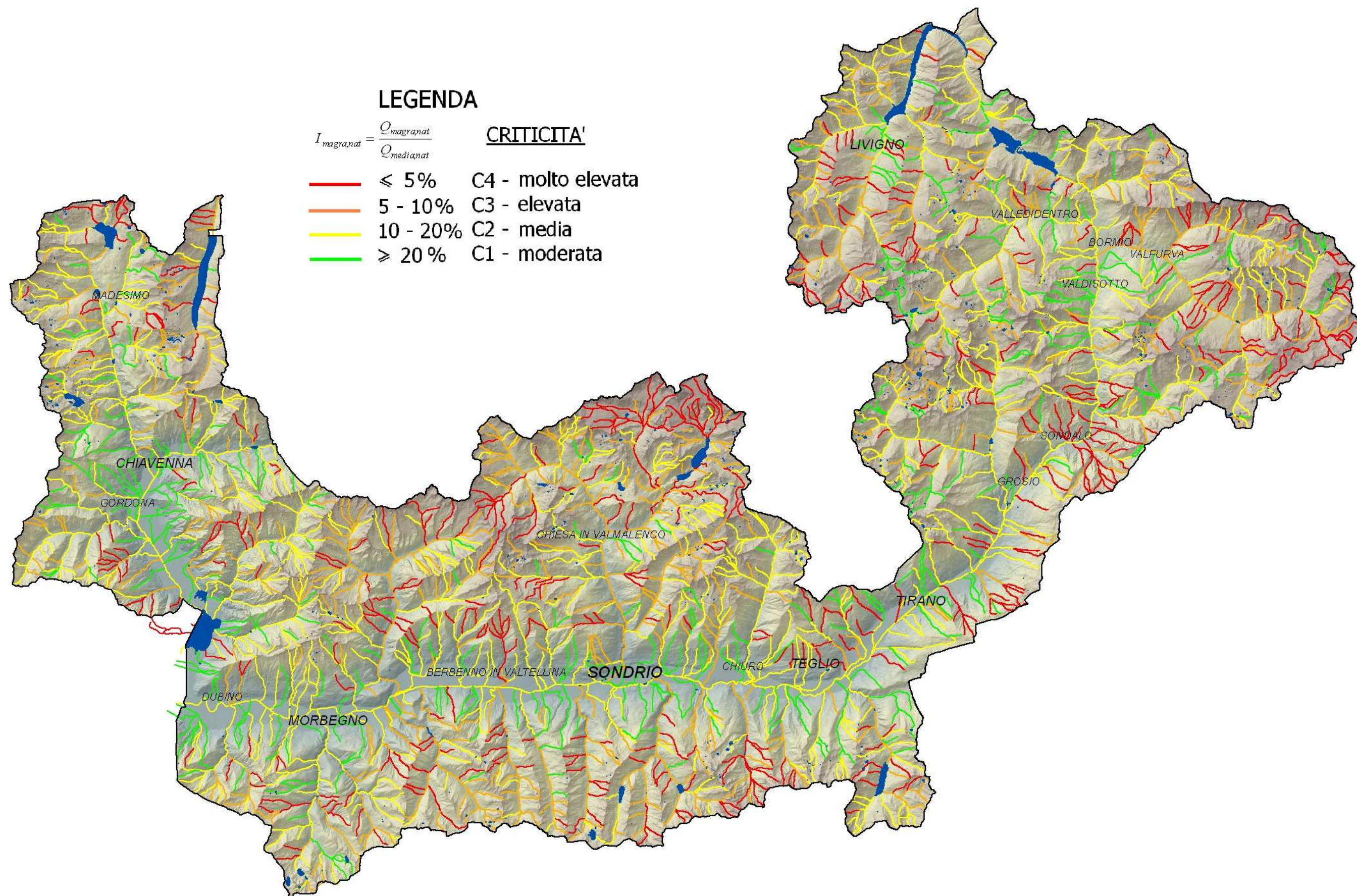


Figura 54. Carta dell'indice $I_{magra, nat}$ rappresentativo delle portate medie annue naturali di magra per ogni tratto del reticolo idrografico.

La carta mette bene in evidenza i tratti in cui sono presenti valori delle portate medie annue naturali di magra assai ridotti con valori di $I_{magra, nat}$ minori del 5 % (colore rosso) o del 10 % (colore arancione) della portata media annua, e quelli in cui invece le portate medie annue naturali di magra sono maggiori del 10 % (colore giallo) o del 20 % (colore verde) della portata media annua.

Confrontando tale cartografia con quelle della permeabilità (Figura 20) e dell'infiltrazione media annua (Figura 21), è interessante osservare che i rami in cui le magre sono più pronunciate (tratti in rosso e arancione) sono quelli inclusi nei bacini soggetti a marcati fenomeni di perdite per infiltrazione, mentre le magre sono meno pronunciate nei bacini (tratti in giallo e verde) in cui il fenomeno delle risorgenze determina una maggiore continuità delle portate fluviali.

Si osserva anche che i bacini del primo tipo, soggetti quindi ad un regime torrentizio più pronunciato, sono in linea di massima ubicati nelle porzioni altimetricamente più alte del territorio, mentre quelli del secondo tipo si distribuiscono prevalentemente nelle aree più vallive poste a valle delle risorgenze.

Pertanto, anche l'indicatore $I_{magra, nat}$ qui discusso può essere assai utile per valutare la compatibilità di nuove derivazioni, quando si osservi che il DMV fissato dalla Regione Lombardia è pari al 10 % della portata media annua, con possibilità di aumento fino al 20 % in relazione all'applicazione di fattori correttivi M, Z, A, T commisurati alle caratteristiche morfologiche, naturalistiche, di fruizione turistico – sociale, alla presenza di carichi inquinanti, all'interazioni tra acque superficiali e sotterranee e alla modulazione dell'arco dell'anno delle portate.

Ne consegue che i corsi d'acqua che presentano $I_{magra, nat} < 10$ % (tratti in colore rosso e arancione) sono soggetti a magre naturali con portate in alveo inferiori al DMV (molto inferiori al DMV per i tratti a criticità molto elevata in cui $I_{magra, nat} < 5$ %) nei periodi invernali e estivi di prolungata assenza di pioggia e in assenza del contributo dovuto allo scioglimento nivale. Il regime idrico marcatamente torrentizio che li caratterizza è quindi rappresentabile da una curva indicativa di durata del tipo di Figura 55, che mostra come in presenza di una derivazione che rispetti il rilascio del DMV pari al 10% il regime dell'anno medio a valle dell'opera di presa sia caratterizzato da tre periodi: un periodo relativo ai giorni, anche non consecutivi, di magra "fisiologica" estiva e invernale con portate inferiori al DMV; un periodo principale di maggiore abbondanza relativo ai giorni, anche non consecutivi, nei quali la derivazione lascia in alveo, a norma rispettata, il solo DMV; un terzo periodo relativo ai giorni di morbida o di piena, anche non consecutivi e di durata complessiva generalmente ridotta, in cui la presenza di portate maggiori della massima derivabile dall'impianto determina il rilascio in alveo di portate di sfioro dell'opera di presa. Il corso d'acqua di cui trattasi, pertanto, è soggetto ad avere praticamente "per sempre", salvo i suddetti brevi periodi di piena, portate o costantemente limitate al DMV o ancora inferiori nei periodi di magra naturale, con le conseguenti modificazioni dell'ecosistema e della naturalità e funzionalità fluviale più oltre discusse (v. Cap. 8).

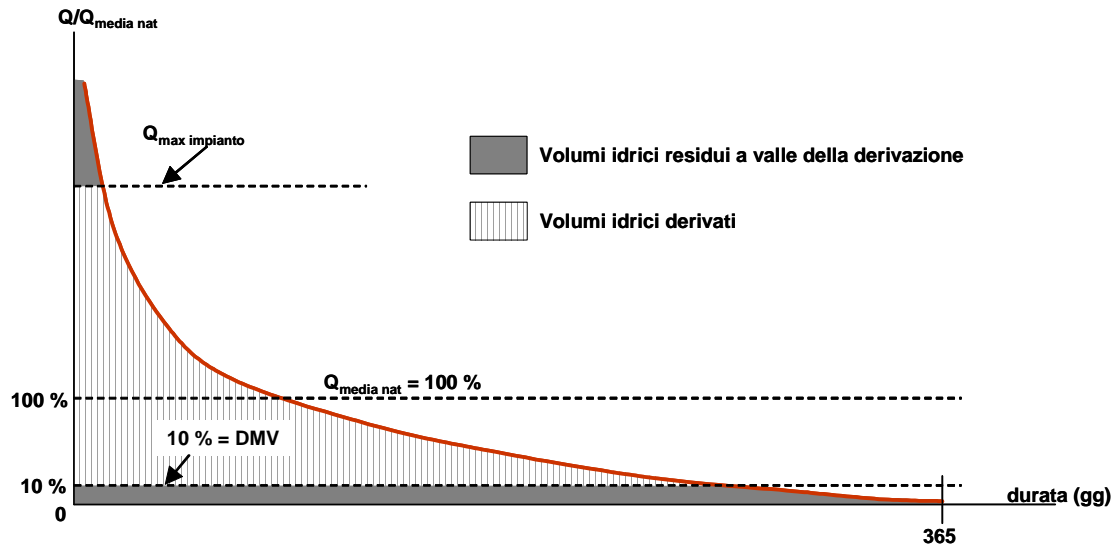


Figura 55. Curva tipo di durata di corsi d'acqua aventi un marcato regime torrentizio con portate di magra naturale inferiori al 10% della portata media annua (corsi d'acqua in colore rosso e arancione della carta di fig. 21).

Tale situazione si presenta meno critica nei corsi d'acqua che, presentando $I_{magra, nat} > 10\%$ (tratti in colore giallo e verde di Figura 54), hanno un regime più continuo nei quali la curva tipo di durata è indicativamente quella di Figura 56 e in cui sono assenti i periodi di magra pronunciata o addirittura di asciutta. La sensibilità ecologica dei corsi d'acqua del primo tipo è quindi maggiore rispetto a quelli del secondo tipo dotati di maggiore continuità del regime di deflusso.

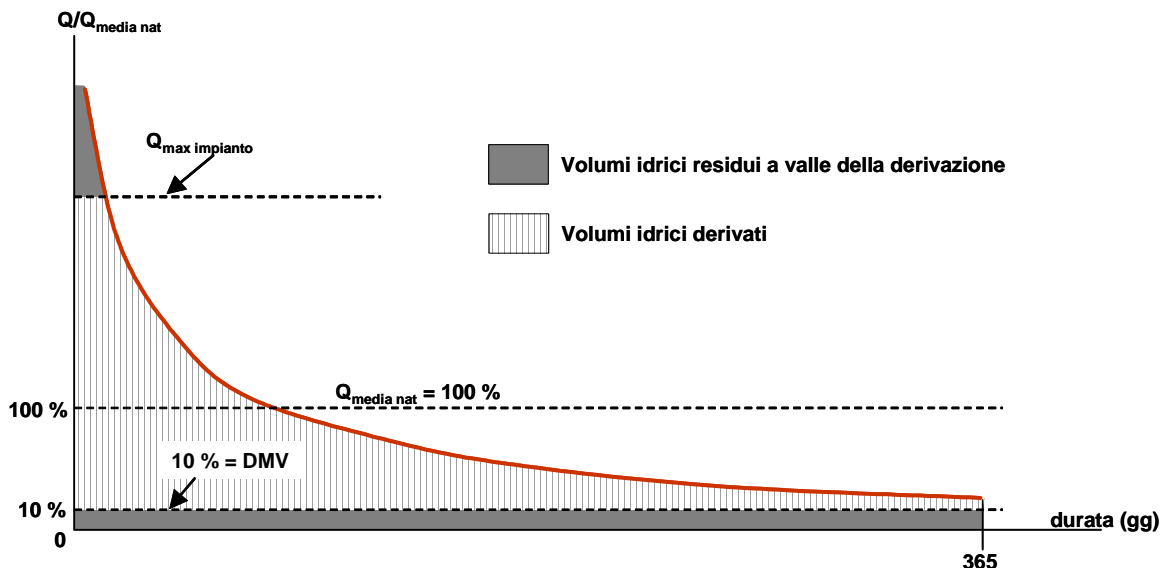


Figura 56. Curva tipo di durata di corsi d'acqua aventi un regime meno torrentizio con portate di magra naturale maggiori del 10% della portata media annua (corsi d'acqua in colore giallo e verde della carta di fig. 21).

Anche per la criticità qui discussa legata ai periodi magra possono richiamarsi le già citate normative adottate da altre Istituzioni che hanno adottato classificazioni di criticità funzioni

del più o meno marcato regime torrentizio e quindi della presenza di periodi più o meno lunghi con portate di magra inferiori al DMV.

Ad esempio l’Autorità di Bacino del F. Arno (v. par.2.6.2), dopo aver adottato come valore del DMV la portata $Q_{7,2}$ (portata di magra corrispondente ad una durata di 7 giorni consecutivi con tempo di ritorno 2 anni), individua le classi di criticità indicate nella Tabella 1:

| Classe di criticità | Deficit idrico | N. giorni in cui la portata è inferiore al DMV |
|---------------------|----------------|--|
| C4 | Molto elevato | > 60 gg |
| C3 | Elevato | 30 ÷ 60 gg |
| C2 | Medio | 1 ÷ 30 gg |
| C1 | Nulla | 0 gg |

Tabella 16. Classi di criticità secondo l’Autorità di Bacino del F. Arno (Progetto di Piano di Bacino – Stralcio “Bilancio Idrico”, Febbraio 2008).

Nel nostro caso, non essendo possibile per le ragioni più volte esposte correlarsi alle curve di durata, note in modo approssimato e parametrico solo per il reticolo principale, l’indice $I_{magra,nat}$ è adottabile in sostituzione dell’indicatore come sopra assunto dall’Autorità di Bacino dell’Arno (durata con portata inferiore al DMV).

Un’ulteriore osservazione che emerge dalla carta di Figura 54 riguarda il fatto che l’indicatore I_{magra} è mediamente più critico per i piccoli bacini montani. Rispetto infatti ai bacini di maggiori dimensioni, nei quali la maggiore complessità idrogeologica e i maggiori tempi di percorrenza determinano una maggiore continuità delle portate in alveo, nei piccoli bacini montani è più probabile che il regime torrentizio sia più pronunciato, come è dimostrato dalla prevalenza dei tratti caratterizzati da $I_{magra,nat} < 10\%$ (tratti di colore rosso e arancione).

Nei piccoli bacini più vallivi, invece, il regime idrico è più continuo per effetto dei fenomeni di risorgenza già descritti; la medesima carta di Figura 54 mostra infatti in tali aree vallive una prevalenza dei tratti del reticolo in colore giallo e verde. Tuttavia proprio tale maggior continuità del regime idrico è importante per l’alimentazione e l’equilibrio del bilancio idrico delle falde di fondovalle, come precedentemente evidenziato.

Tutti tali aspetti, pertanto, convergono nell’opportunità di evitare alterazioni del regime dei piccoli bacini sia montani che vallivi.

Escludendo dalla rappresentazione cartografica i piccoli bacini di superficie inferiore a 5 km^2 , si ottiene la carta indicata in Figura 57.

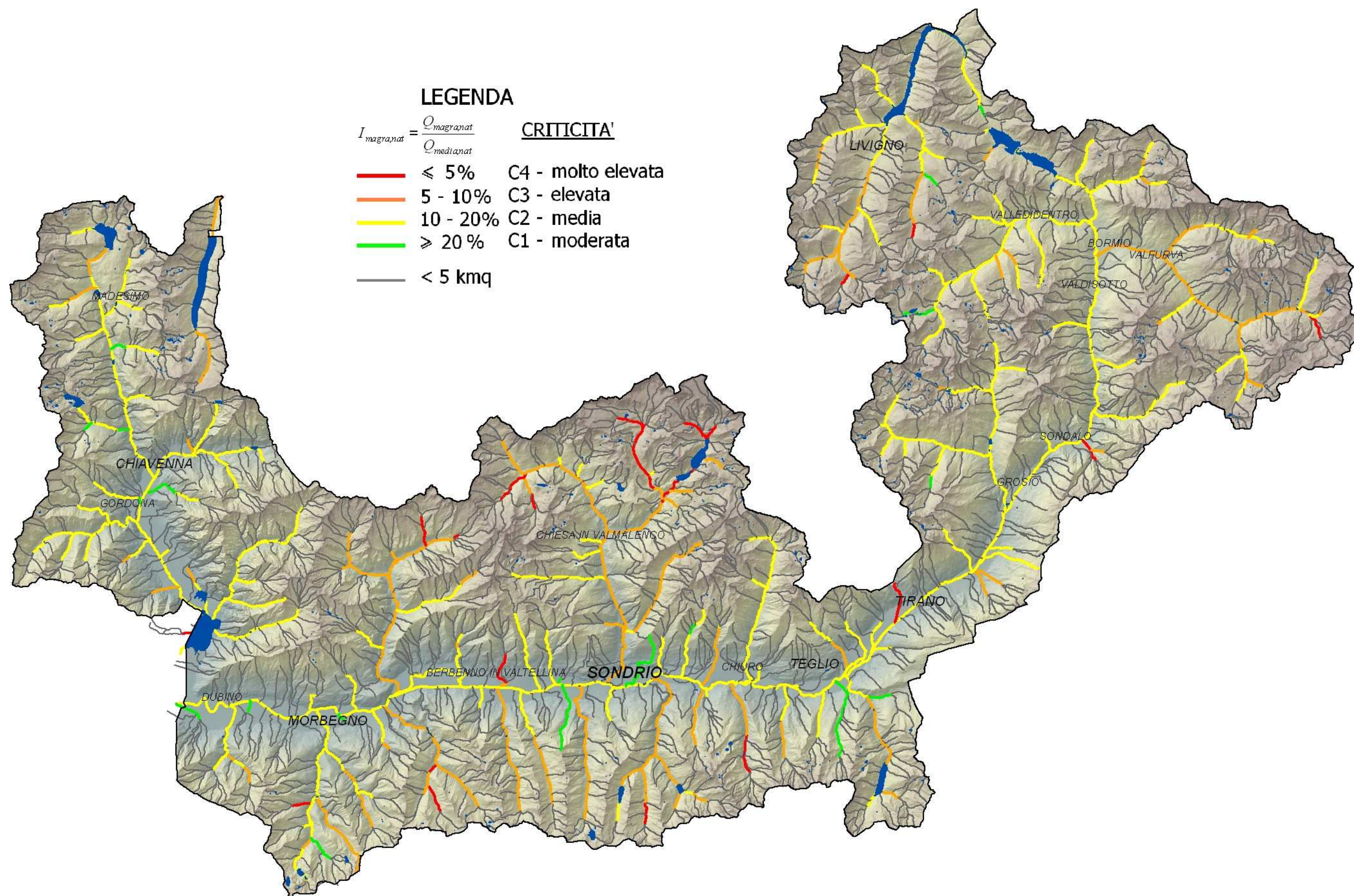


Figura 57. Carta dell'indice $I_{\text{magra, nat}}$ rappresentativo delle portate medie annue naturali di magra per ogni tratto del reticolo idrografico, ad esclusione dei piccoli bacini di superficie < 5 km² (indicati con colore grigio).

Tale figura mostra chiaramente come le aste principali del bacino (ad esempio l'Adda, il Mera e il Liro) presentino valori di $I_{magra,nat} > 10\%$ essendo alimentati da bacini di maggiore dimensione aventi anche significativi fenomeni di risorgenza, mentre altri corsi d'acqua, pur importanti (come ad esempio il Masino, il Mallero e molti tributari in sinistra Adda tra Tresenda e Sondrio), hanno carattere marcatamente torrentizio essendo caratterizzati da valori di $I_{magra,nat} < 10\%$.

6.6 INDICE RAPPRESENTATIVO DEL RISCHIO DI CRITICITÀ INDOTTO DALLE DERIVAZIONI RISPETTO ALLE PORTATE MEDIE ANNUE NATURALI DI MAGRA (PORTATE MEDIE ANNUE DI MAGRA ANTROPIZZATE) PER OGNI TRATTO DEL RETICOLO IDROGRAFICO

Come precedentemente esposto (par. 5.3.5), in condizioni di magra la valutazione dell'effetto sui corsi d'acqua conseguente alle derivazioni ha condotto alla determinazione del rischio di criticità rispetto alle portate medie annue di magra, delle portate cioè residue a valle delle derivazioni e restituzioni, ma tenendo ora conto della presenza negli alvei delle sole portate di deflusso di base di cui al Cap. 4 e alla cartografia di Figura 36. Infatti nei periodi di magra le derivazioni possono determinare sottrazioni idriche che conducono a criticità ben più forti.

L'indicatore $I_{magra,antr} = \frac{Q_{magra,antr}}{Q_{media,nat}}$ ivi adottato indica quindi la corrispondente classificazione

di criticità. Questa è presentata nella seguente Figura 58 avendo adottato anche per tale indice le medesime classi di criticità prima viste.

Escludendo dalla rappresentazione cartografica i piccoli bacini di superficie inferiore a 5 km^2 , si ottiene la carta indicata in Figura 59.

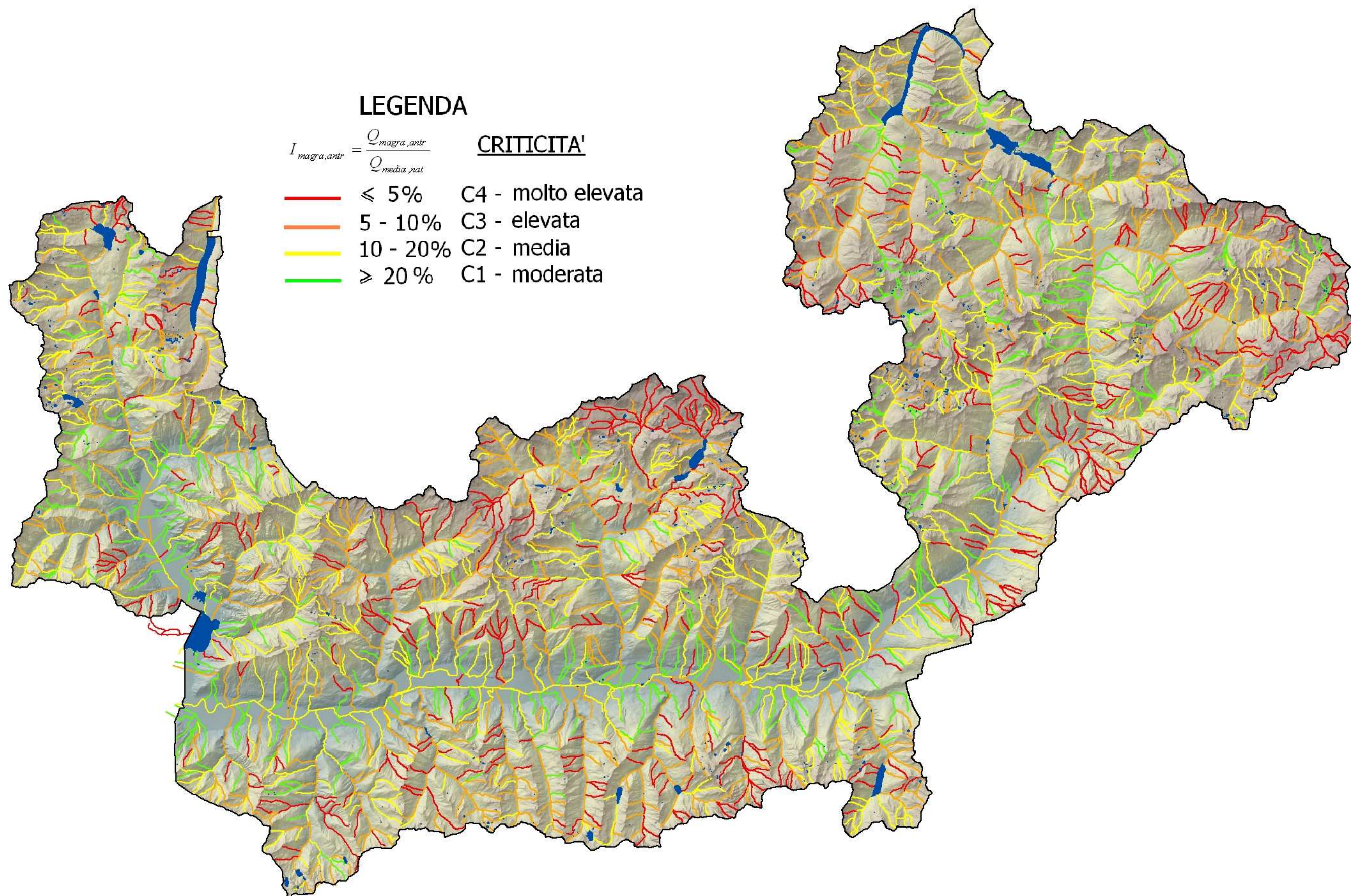


Figura 58. Carta dell'indice $I_{magra, antr}$ della portata media annua antropizzata di magra rappresentativo, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio indotto dalle derivazioni rispetto alla portata media annua naturale di magra.

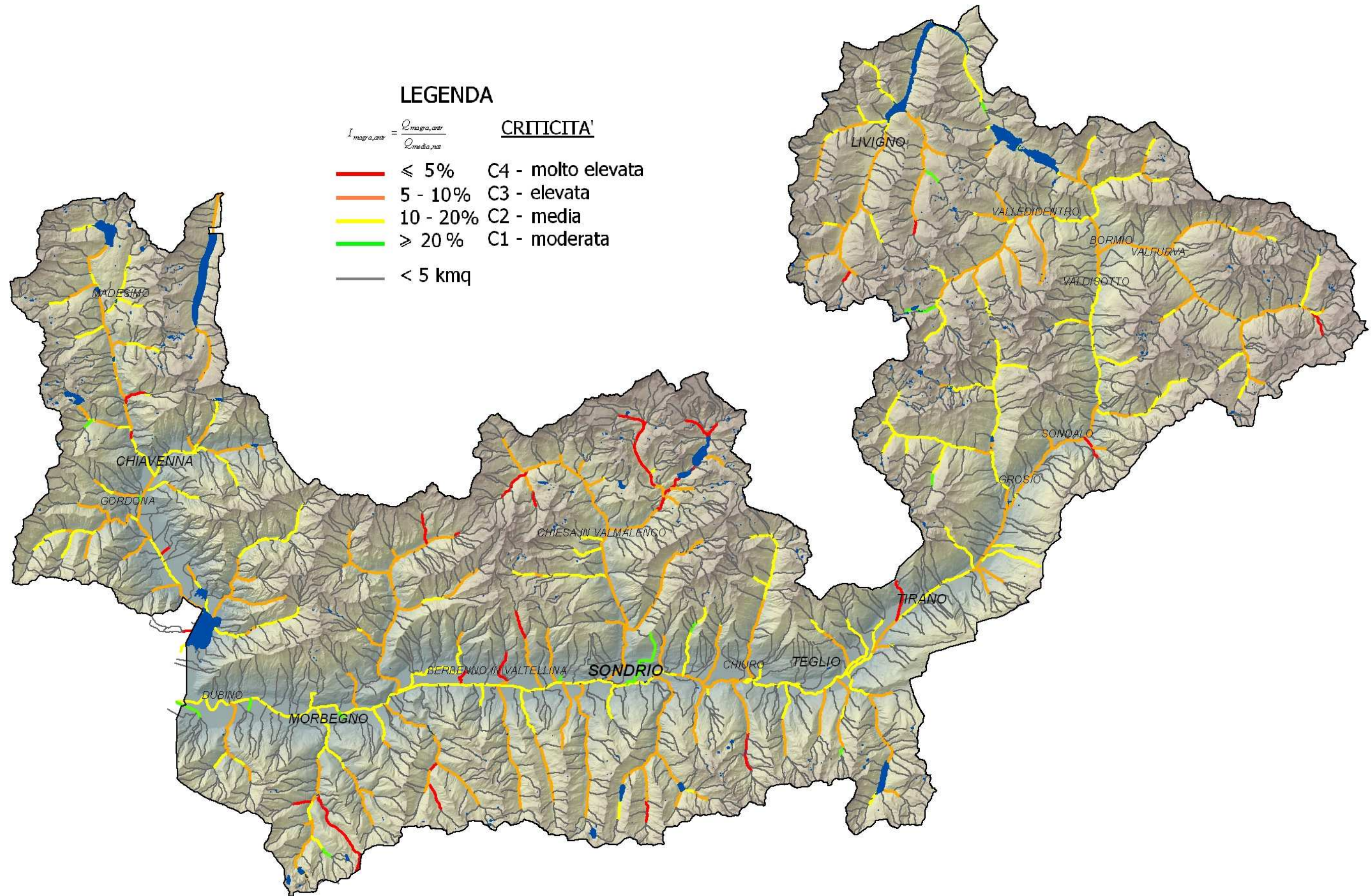


Figura 59. Carta dell'indice $I_{magra, ant}$ della portata media annua antropizzata di magra rappresentativa, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio indotto dalle derivazioni rispetto alla portata media annua naturale di magra, ad esclusione dei piccoli bacini di superficie < 5 km² (indicati con colore grigio). Questa figura è riprodotta anche nella Tav. 2 del Piano di Bilancio Idrico della Provincia di Sondrio.

Anche in questo caso, tenendo conto dei criteri di valutazione delle portate derivate indicati nel par. 5.3.3 - valutate ammettendo che le utilizzazioni idroelettriche derivino l'intera portata media annua disponibile nella sezione di derivazione a meno del DMV 10 %, mentre le utilizzazioni non idroelettriche derivino le portate di concessione (salvo i rari casi di concessioni maggiori alla portata media annua naturale per i quali si è assunto che le derivazioni derivino rispettando il DMV 10 %) – gli scenari descritti nelle carte di Figura 58 e Figura 59 sono da ritenersi come *scenari di rischio*, peraltro da ritenersi molto vicini alla realtà, e corrispondentemente l'indice $I_{magra,antr}$ è da ritenersi propriamente come *indice di rischio di criticità* indotto dall'antropizzazione delle portate medie annue di magra.

6.7 INDICE RAPPRESENTATIVO DEL RISCHIO DI IRREGOLARITÀ INDOTTO DAI SERBATOI ARTIFICIALI SUL REGIME DEI CORSI D'ACQUA PER OGNI TRATTO DEL RETICOLO IDROGRAFICO

6.7.1 Premessa

La Direttiva 2000/60/CE, che istituisce un quadro per l'azione Comunitaria in materia di acque, oltre agli elementi biologici, chimici, fisico-chimici, inserisce gli elementi idromorfologici tra gli elementi che caratterizzano lo stato ecologico dei corsi d'acqua, quali il regime idrologico, la continuità fluviale e le condizioni morfologiche.

Come riportato dalla Direttiva 2000/60/CE, il regime idrologico è definito dalla massa e dalla dinamica del flusso e dalla risultante connessione con le acque sotterranee; la continuità fluviale è invece definita dal grado di alterazione dovuto alle attività antropiche, dal livello di modificazione del trasporto solido e della migrazione degli organismi acquatici. Le condizioni morfologiche sono definite dalle caratteristiche del solco fluviale, dalla variazione della larghezza e della profondità, dalla velocità di flusso, dalle condizioni del substrato nonché dalla struttura e dalle condizioni delle zone ripariali.

Lo stato ecologico del corso d'acqua dipende dal grado di alterazione del regime idrologico, della continuità fluviale e delle condizioni morfologiche, che si ripercuote sulla qualità biologica del corso d'acqua stesso. Condizioni inalterate dei tre suddetti elementi definiscono lo stato elevato.

Per definire le condizioni di tali elementi idromorfologici è necessaria una conoscenza dettagliata delle opere idrauliche insistenti sui corsi d'acqua e del grado di alterazione da esse provocate su tali elementi. Sono quindi indispensabili studi approfonditi su tutte le opere e le alterazioni antropiche presenti in alveo e dell'impatto generato sul corso d'acqua.

Nel territorio della Provincia di Sondrio, che data l'elevata criticità idrogeologica è fortemente interessato da opere di correzione e regimazione dei corsi d'acqua costruite progressivamente da molti decenni, è in corso su tutto il bacino dell'Adda il censimento delle opere idrauliche da parte della Regione Lombardia. Attualmente è disponibile unicamente lo stralcio relativo alla Valmalenco. In tale catasto per ogni opera idraulica sono riportati la tipologia, il materiale, la quota e le caratteristiche geometriche dell'opera (altezza, lunghezza, area, ecc.).

Sarebbe utile, al fine di definire le condizioni dei parametri idromorfologici prima richiamati, introdurre la caratterizzazione dell'impatto generato da tali elementi, associando al censimento lo studio delle alterazioni, con particolare riferimento alla modifica della qualità biologica.

Non disponendo, nell'attuale stato delle conoscenze, di un quadro completo di tutti gli elementi utili alla valutazione delle criticità indotte dalle opere idrauliche, non è stato possibile analizzare lo stato di criticità correlato a tale argomento.

Tuttavia alcune notevoli specificità possono fin da ora essere ricordate, come ad esempio le grandi gallerie di by-pass costruite o da costruire in corrispondenza dei fenomeni franosi più rilevanti e distruttivi.

Le due gallerie dell'Adda in corrispondenza della frana di Val Pola vennero costruite subito dopo il crollo della frana di circa 40 milioni di mc allo scopo di incanalare il fiume per una lunghezza di circa 3 km, onde evitare il rischio che un nuovo fenomeno franoso potesse sbarrare il corso d'acqua determinando la formazione di un lago di grande pericolosità analogo a quello formatosi a seguito del detto evento. L'alterazione che tale frana ha provocato per tutto un vasto settore del territorio fluviale è solo ora in via di parziale recupero attraverso le opere di riassetto idraulico dell'Adda, ora in corso, indirizzate a riportare il fiume a cielo aperto ripristinando così la sua continuità fluviale.

Analogamente il tunnel di by-pass del T. Bitto, costruito onde ridurre efficacemente il locale rischio di frana del versante instabile sottostante l'abitato di Bema, costituisce un altro esempio di discontinuità fluviale. E ciò vale anche per la ben nota frana di Spriana in val Malenco, poco a monte della città di Sondrio, per la quale è prevista la costruzione di un analogo tunnel di by pass del T. Mallero.

Ferma restando l'assoluta necessità delle opere di regimazione idraulica atte a ridurre le situazioni di maggiore rischio di instabilità, sarà opportuno intraprendere studi atti a mitigare gli effetti di discontinuità fluviale di tali opere.

Un'altra categoria di grandi infrastrutture che introducono modifiche nella continuità e naturalità fluviale, da soppesare nello spirito della Direttiva 2000/60/CE, è costituita dalle dighe degli impianti idroelettrici, che consentono all'utilizzatore di modificare il regime delle portate allo scopo di massimizzare l'energia elettrica prodotta, costituendo con ciò un elemento di alterazione della naturalità del corso d'acqua.

6.7.2 I serbatoi artificiali esistenti nel territorio provinciale

I dati necessari per la valutazione della criticità indotta dai serbatoi artificiali sono stati estratti dallo Studio "Definizione dell'impatto dei bacini artificiali sull'ittofauna e valutazione di misure di protezione –Provincia di Sondrio, Regione Lombardia".

I numerosi e rilevanti serbatoi artificiali costruiti nella prima parte del secolo scorso nel settore montano del territorio provinciale costituiscono una riserva idrica preziosa per molteplici finalità. Infatti, oltre alla importante funzione di regolazione delle portate emunte dagli impianti idroelettrici più oltre discussa, tali riserve sono assai importanti per compensare almeno parzialmente i periodi estivi di carenza idrica dei territori più vallivi, come si è dimostrato negli anni recenti caratterizzati da forti e prolungate periodi di siccità.

Inoltre non è trascurabile la funzione di laminazione delle piene esplicita dall'invaso nei serbatoi quando essi si trovino solo parzialmente riempiti all'inizio dei fenomeni di piena. Naturalmente l'effetto attenuatore dei serbatoi è molto importante nei tratti fluviali situati immediatamente a valle degli stessi, mentre risulta progressivamente attenuato verso valle; esso è tuttavia assai significativo anche per l'asta principale dell'Adda come è stato dimostrato da precedenti studi specialistici.

Tuttavia, ciò che interessa nel presente studio è l'effetto dei serbatoi nelle modificazioni del regime fluviale. Con il loro volume utile, infatti, essi consentono all'utilizzatore di concentrare la derivazione di portata e quindi la produzione energetica nei periodi di maggiore fabbisogno, compensando in tal modo le differenze presenti tra le portate disponibili in alveo e quelle richieste dalla produzione.

In proposito è da osservare che i caratteri della produzione idroelettrica si sono notevolmente modificati nel tempo rispetto all'epoca in cui furono costruiti i serbatoi, essenzialmente per tre motivi:

1. a seguito della sempre più marcata percentuale di energia prodotta da impianti termoelettrici, la produzione idroelettrica è stata progressivamente destinata alla copertura delle punte di potenza in relazione alla grande elasticità gestionale degli impianti idroelettrici a serbatoio;
2. il valore economico dell'energia prodotta è molto variabile nel tempo, con forte interesse dell'utilizzatore a concentrare la produzione nelle ore "ricche" in cui il kwh assume un valore molto elevato, ciò che può avvenire assai bene negli impianti idroelettrici a serbatoio caratterizzati come detto da grande elasticità gestionale;
3. poiché la produzione idroelettrica è classificata come produzione da fonte rinnovabile, l'utilizzatore gode degli incentivi appositamente previsti dalla legislazione.

Da tutto ciò deriva che i serbatoi idroelettrici determinano una marcata variabilità nel tempo delle portate restituite nei corsi d'acqua. Quindi, pur non sottraendo alcunché alla risorsa idrica naturalmente disponibile, che viene integralmente restituita, tale restituzione avviene con un regime di portata caratterizzato da forti oscillazioni e irregolarità rispetto al regime che avrebbe naturalmente il corso d'acqua.

Tali irregolarità sono ovviamente legate al regime che il gestore dell'impianto individua come economicamente più conveniente in funzione delle caratteristiche del proprio impianto, della variabilità della domanda di energia e del valore della stessa. Non appare quindi possibile determinare a priori il grado di irregolarità della restituzione indotto da ciascun serbatoio idroelettrico del territorio provinciale.

Tuttavia, si è ritenuto di poter individuare una classificazione di *rischio di irregolarità* del regime fluviale in tal senso indotto dai serbatoi in funzione della loro capacità di invaso. Infatti tanto maggiore è la capacità di invaso, rispetto al volume medio annuo della risorsa idrica, tanto più marcata è la possibilità del gestore di modificare il regime della restituzione.

Si è pertanto ritenuto di adottare come indicatore di tale *rischio di irregolarità* il rapporto:

$$I_{serb} = \frac{V_{serb}}{D_{medio}}$$

tra il volume utile del serbatoio e il volume di deflusso medio annuo naturale nella sezione di restituzione (v. schema di Fig. 25).

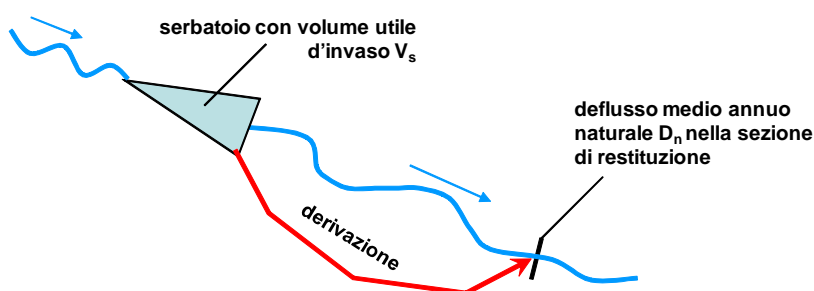


Figura 60. Schema elementare di un serbatoio idroelettrico che induce nella sezione di restituzione una modificazione nel regime naturale di portata.

Per l'indice I_{serb} si è assunta la seguente classificazione di rischio di irregolarità:

| | | |
|------------|-------------|---------------|
| I_{serb} | > 35 % | molto elevato |
| “ | 20 % ÷ 35 % | elevato |
| “ | 10 % ÷ 20 % | medio |
| “ | < 10 % | moderato |

I serbatoi idroelettrici presenti nel territorio provinciale sono quelli indicati nella seguente Tabella 17:

| SERBATOI ARTIFICIALI | | |
|----------------------|------------------------------|--------------------|
| | | 10^6 m^3 |
| 1 | S.Giacomo di Fraele | 64 |
| 2 | Lago di Cancano | 124.1 |
| 3 | Invaso di Valgrosina | 1.34 |
| 4 | Lago di Belviso (Frera) | 50.1 |
| 5 | Invaso di Ganda | 0.07 |
| 6 | Lago di Mezzo | 0.49 |
| 7 | Lago di Santo Stefano | 0.63 |
| 8 | Lago di Scais | 9.06 |
| 9 | Lago Venina | 11.19 |
| 10 | Bacino di Campo Gera | 68.1 |
| 11 | Bacino di Campo Moro | 10.75 |
| 12 | Lago del Publino | 5.19 |
| 13 | Campo Tartano | 1.28 |
| 14 | Lago di Pesceglio | 1.11 |
| 15 | Lago dell'Inferno | 4.17 |
| 16 | Lago di Trona | 5.35 |
| 17 | Lago Panigai | 0.12 |
| 18 | Invaso di Ardenno | 0.5 |
| 19 | Lago di Montespluga | 32.6 |
| 20 | Lago di Isola | 1.76 |
| 21 | Lago d Madesimo | 0.161 |
| 22 | Lago del Prestone | 0.059 |
| 23 | Bacino di Truzzo | 14 |
| 24 | Invaso di Villa di Chiavenna | 0.935 |
| 25 | Forni | 0.011 |
| 26 | Diga di Vedello | 0.013 |
| 27 | Vasconi di Grosotto | 0.05 |
| 28 | Invaso di Sernio | 0.705 |

Tabella 17. Serbatoi idroelettrici presenti nel territorio provinciale.

Si tratta di serbatoi asserviti a impianti anche molto complessi che derivano portate prelevate anche da molteplici corsi d'acqua; inoltre alcuni impianti presentano serbatoi in cascata. Ciò ha imposto un'attenta ricognizione al fine di individuare per ciascuno di essi l'entità dei volumi d'invaso disponibili e la posizione della sezione di restituzione ove si risente delle modificazioni nel regime delle portate restituite.

La carta di Figura 61 mostra il rischio di irregolarità I_{serb} per i corsi d'acqua posti a valle delle restituzioni sottese dai serbatoi idroelettrici.

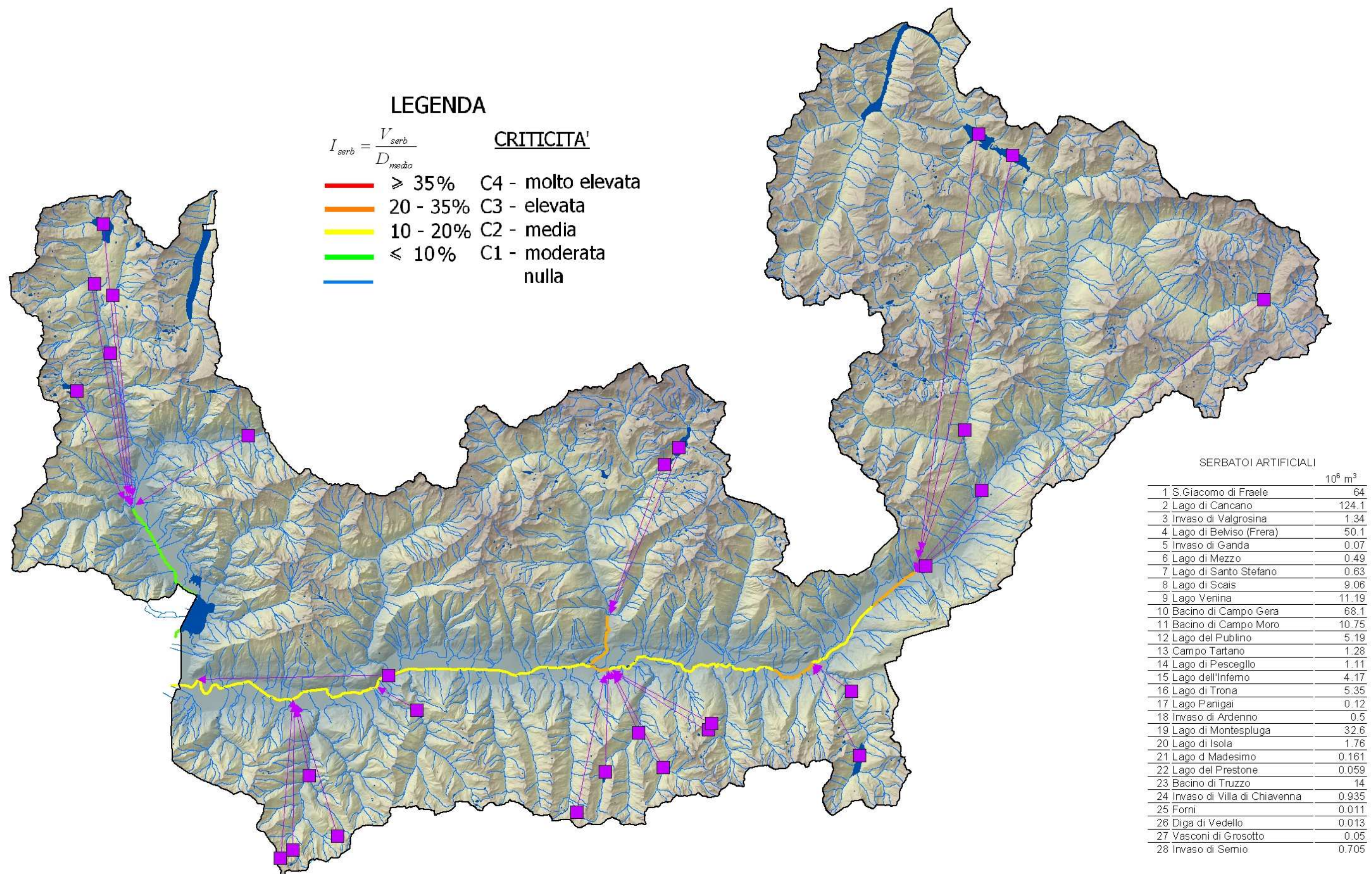


Figura 61. Carta dell'indice rappresentativo, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio di irregolarità indotto dai serbatoi artificiali sul regime dei corsi d'acqua I_{serb} . Questa figura è riprodotta anche nella Tav. 3 del Piano di Bilancio Idrico.

Si può osservare che sono pochi i corsi d'acqua soggetti alle dette modificazioni, dal momento che la restituzione delle portate regolate dai serbatoi avviene nei corsi d'acqua più vallivi ove è elevata la disponibilità di risorsa naturale; in particolare nessun corso d'acqua è in classe di criticità “molto elevata” mentre solo alcuni sono in classe di criticità “elevata” (tre tratti dell'Adda e il tratto più vallivo del Mallero).

6.8 INDICE RAPPRESENTATIVO DEL LIVELLO DI SFRUTTAMENTO IDROELETTRICO IN TERMINI DI ENERGIA PRODOTTA

Per completezza di analisi, si può indagare il livello di sfruttamento idroelettrico di un bacino o sottobacino.

Una metodologia “classica” di determinazione del livello di sfruttamento idroelettrico è fornita dalla “curva idrodinamica” del bacino in esame. Tale curva mette in relazione, procedendo da monte a valle lungo l'asta principale, le quote altimetriche del corso d'acqua con la corrispondente superficie di bacino sotteso. In corrispondenza della quota di ogni punto di confluenza con un affluente il correlativo brusco incremento di bacino sotteso determina un “ripiano” della curva al di sopra del quale può essere tracciata la curva idrodinamica dell'affluente.

Poiché, in prima e grossolana approssimazione, per una determinata regione idrologica può ammettersi che la superficie di bacino sottesa da una determinata sezione fluviale sia proporzionale alla portata media annua naturale ivi disponibile, la curva idrodinamica può ritenersi rappresentativa del legame quote fluviali - portate medie annue. Se quindi è presente un impianto idroelettrico che deriva l'acqua da una sezione posta a quota h_1 , ove è sotteso il bacino di area s_1 , e la restituisce in una sezione posta a quota h_2 , il rettangolo, iscritto nella curva idrodinamica, avente base h_1 e altezza ($\Delta h = h_1 - h_2$) presenta un'area $s_1 \cdot \Delta h$ che è proporzionale alla potenza idraulica media annua ritraibile dallo stesso impianto. Essendo, infatti, la potenza idraulica media annua dell'impianto pari a:

$$P(kW) = 9.81 \cdot \frac{\gamma \cdot Q_{media} \cdot \Delta h}{\eta}$$

il prodotto $Q_{media} \cdot \Delta h$, rappresentato nella curva idrodinamica dal rettangolo di area $s_1 \cdot \Delta h$, è proporzionale alla potenza P a meno del peso specifico γ dell'acqua e del rendimento η dell'impianto.

Una volta che la curva idrodinamica sia stata tracciata per un assegnato bacino è possibile inscrivere in essa i rettangoli rappresentativi di tutti gli impianti idroelettrici in esso presenti e individuare così quanto sia ampia l'area complessiva compresa negli stessi rettangoli rispetto all'area complessiva sottesa dalla curva idrodinamica, area quest'ultima che definisce la potenza massima teorica ritraibile dal bacino in esame.

Ciò posto si è proceduto alla ricostruzione della curva idrodinamica per alcuni bacini del territorio provinciale onde verificarne il livello di sfruttamento energetico.

Nelle Figura 62 e Figura 63 sono mostrate, a titolo di esempio, le curve idrodinamiche dei torrenti Mallero e Masino, complete dei rettangoli sottesi dagli impianti presenti o già concessi.

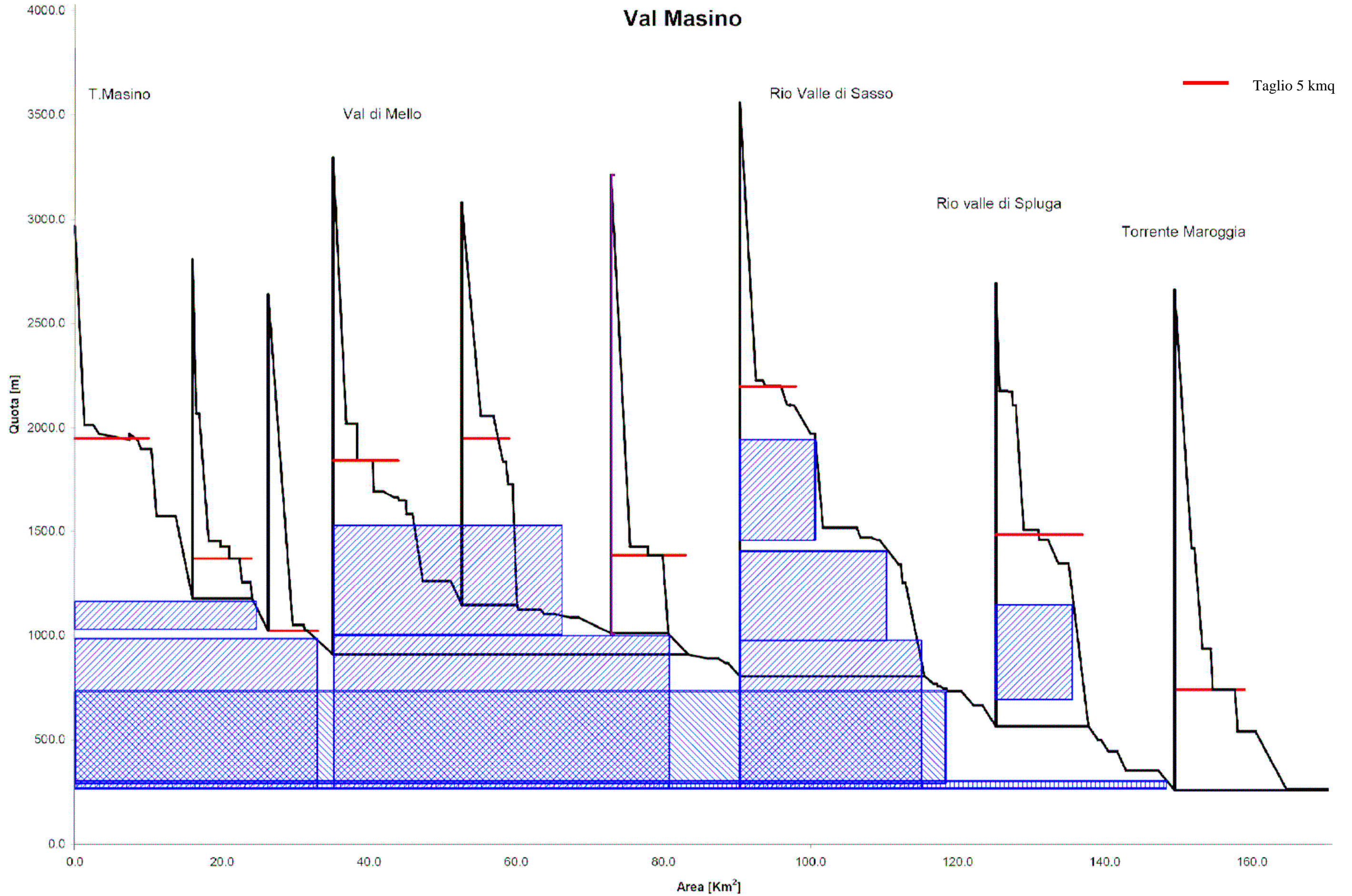


Figura 62. Curva idrodinamica della Val Masino

Valmalenco

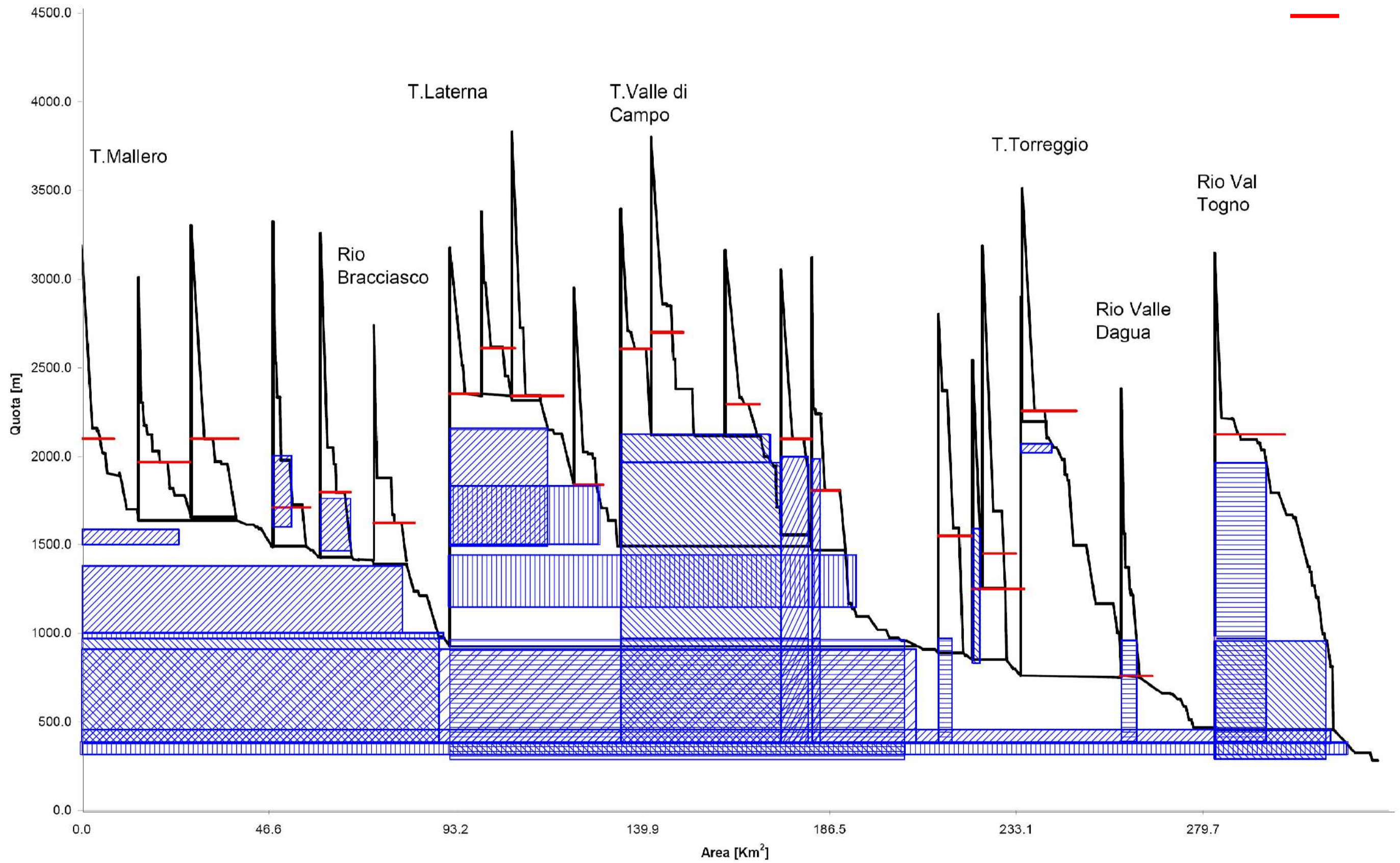


Figura 63. Curva idrodinamica della Valmalenco

Le curve mostrano come gli impianti già presenti o già concessi determinino con il loro rispettivi rettangoli un elevato livello di sfruttamento energetico in entrambi i bacini. Infatti, soprattutto se si ammettono non derivabili i piccoli bacini montani di superficie minore di 5 km², si osserva dalle figure (Figura 62 e Figura 63) come gli impianti attuali siano pressoché tali da saturare la possibilità di generazione energetica; per il T. Masino solo le aste montane dello stesso Masino e della Val di Mello presenterebbero margini di sfruttamento, mentre per il T. Mallerio tali possibilità si riconoscono solo nel T. Torreggio.

Pertanto, effettuando la ricostruzione della curva idrodinamica per tutti i settori del territorio provinciale o per la sua totalità si ha la possibilità di individuare i rispettivi livelli di sfruttamento e gli eventuali margini di potenziamento. Tuttavia si è ritenuto inutile procedere in tale ricostruzione, dal momento che essa determinerebbe risposte ovvie: pochi margini di sfruttamento per i sottobacini già interessati dagli impianti o ampi margini di sfruttamento per i sottobacini con pochi o nessun impianto, senza possibilità di verificare l'ammissibilità delle nuove derivazioni in termini di accettabilità ambientale.

7. LA QUALITÀ DELLE ACQUE E DELL'ECOSISTEMA DEI CORSI D'ACQUA NELLA PROVINCIA DI SONDRIO

7.1 PREMESSA

Le attività di captazione d'acqua determinano una diminuzione dei deflussi nei tratti a valle di derivazioni e sbarramenti, provocando l'alterazione delle comunità biologiche più sensibili (principalmente a causa della riduzione dell'habitat e per la diminuzione dell'ossigeno disciolto disponibile) e diminuendo la capacità del corpo idrico recettore di diluire le sostanze inquinanti laddove siano presenti degli scarichi (Figura 64).

Il Deflusso Minimo Vitale (DMV) è un indicatore associato alla portata rilasciata in alveo a valle di una derivazione idrica ed è principalmente utilizzato per stimare gli effetti sull'ecosistema della derivazione stessa, nonché per imporre limiti alle quantità d'acqua derivabili.

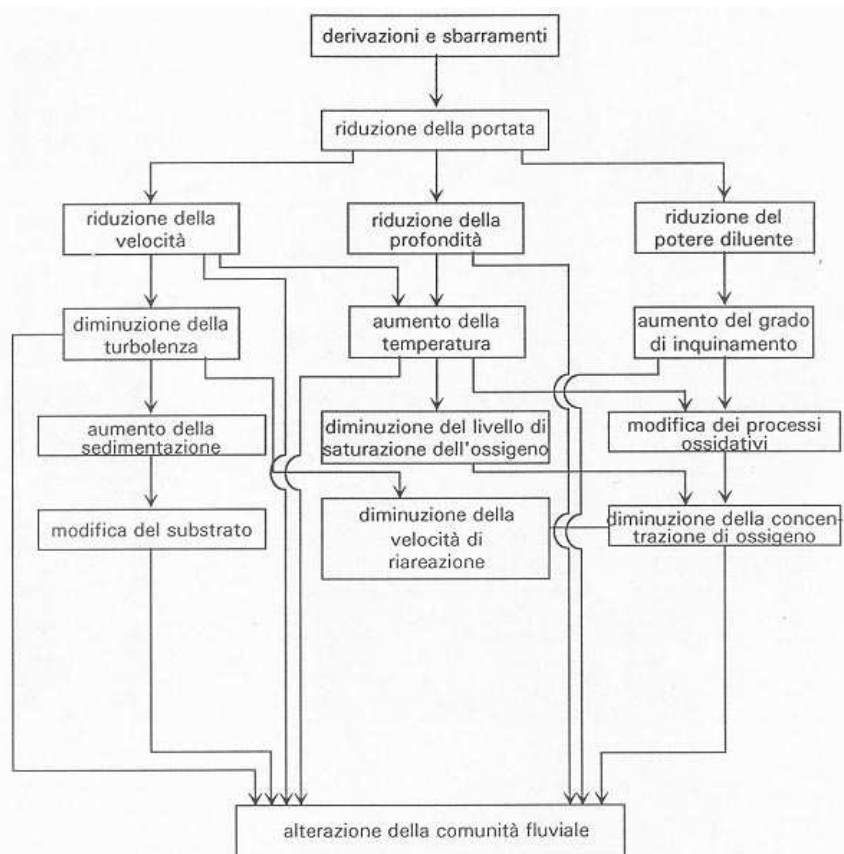


Figura 64. Effetti che possono verificarsi sulle comunità fluviali a causa della riduzione della portata.

Per sua stessa natura, dunque, il DMV, pur essendo una grandezza quantitativa che esprime una portata specifica, è prima di tutto funzione delle caratteristiche chimiche, fisiche e morfologiche del corso d'acqua e delle caratteristiche biologiche dell'ecosistema interessato, poiché il suo fine ultimo è di assicurare le condizioni necessarie al naturale svolgimento dei processi biologici vitali degli organismi acquatici. Diretta conseguenza di questo assunto è

che, nella determinazione di nuove strategie per il calcolo del DMV, è di primaria importanza definire le caratteristiche di qualità dell'acqua, di naturalità degli ambienti fluviali e di integrità delle biocenosi dei corpi idrici che sono soggetti a concessioni di derivazione o a richieste in tal senso. Tali caratteristiche, vicendevolmente connesse e strettamente legate con i regimi idraulici, devono essere poste in relazione agli aspetti idrologici che, troppo spesso, costituiscono l'unica banca dati utilizzata per determinare la quantità d'acqua che è possibile derivare.

7.2 LA QUALITÀ DELLE ACQUE SUPERFICIALI IN PROVINCIA DI SONDRIO

La qualità delle acque superficiali è monitorata attraverso una rete di stazioni di rilevamento in cui l'ufficio deputato dell'Agenzia Regionale della Protezione dell'Ambiente (ARPA) effettua campionamenti con cadenza stagionale, per l'analisi delle comunità di macroinvertebrati bentonici, e mensile, per la determinazione dei parametri chimico-fisici. Tra i parametri che concorrono a determinare lo stato di qualità chimico-fisica, di particolare rilievo sono i sette indicatori (Ossigeno Disciolto – OD, Domanda Biochimica di Ossigeno – BOD, Domanda Chimica di Ossigeno – COD, Azoto ammoniacale – N-NH₄, Azoto Nitrico – N-NO₃, Fosforo totale – P-tot, *Escherichia coli*) che, insieme, costituiscono la base per il computo dell'indice LIM (Livello di Inquinamento da macrodescrittori), normalmente utilizzato per valutare l'impatto di effluenti provenienti da impianti di depurazione o di scarichi non trattati sul corpo idrico recettore. In un ambiente quale la Provincia di Sondrio, l'insieme di tali scarichi puntuali costituisce la fonte di alterazione chimico-fisica principale, anche se non unica, ed è strettamente interdipendenti alla portata transitante nel recettore per ciò che riguarda non solo la possibile diluizione, ma anche l'innescò e l'efficienza dei processi di degradazione del carico inquinante in alveo, mediante autodepurazione da parte dell'ecosistema fluviale.

Per ogni parametro sono previsti intervalli di concentrazione corrispondenti a classi di qualità, che originano punteggi (da 5 punti per la classe peggiore a 80 per la migliore, Tabella 18). I parametri chimico-fisici determinanti il LIM e il punteggio dell'Indice Biotico Esteso (IBE) dedotto dallo stato di salute delle comunità macroinvertebrate concorrono a determinare lo Stato Ecologico dei Corsi d'Acqua (SECA), che altro non è se non la classe peggiore, scelta in base al principio di cautela, tra quella del LIM e dell'IBE (Tabella 19). Le classi di qualità SECA (così come le classi IBE e le classi LIM) sono 5, dalla 1, la migliore, alla 5, che corrisponde ad un grado di alterazione molto forte, e sono identificate visivamente dai colori blu (1), verde (2), giallo (3), arancione (4) e rosso (5).

| Parametro | Livello 1 | Livello 2 | Livello 3 | Livello 4 | Livello 5 |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 100-OD(% sat.) * | ≤ 10 # | ≤ 20 | ≤ 30 | ≤ 50 | > 50 |
| BOD ₅ (mg/l) | < 2,5 | ≤ 4 | ≤ 8 | ≤ 15 | > 15 |
| COD (mg/l) | < 5 | ≤ 10 | ≤ 15 | ≤ 25 | > 25 |
| NH ₄ (mg/l) | < 0,03 | ≤ 0,1 | ≤ 0,5 | ≤ 1,5 | > 1,5 |
| NO ₃ (mg/l) | < 0,30 | ≤ 1,5 | ≤ 5 | ≤ 10 | > 10 |
| P totale (mg/l) | < 0,07 | ≤ 0,15 | ≤ 0,30 | ≤ 0,6 | > 0,6 |
| Escherichia Coli (UFC/100 ml) | < 100 | ≤ 1.000 | ≤ 5.000 | ≤ 20.000 | > 20.000 |
| Punteggio da attribuire per ogni parametro analizzato (75° percentile del periodo di rilevamento) | 80 | 40 | 20 | 10 | 5 |
| Livello di inquinamento dai macrodescrittori | 480-560 | 240-475 | 120-235 | 60-115 | < 60 |

* La misura deve essere effettuata in assenza di vortici; il dato relativo al deficit o al surplus deve essere considerato in valore assoluto.

In assenza di fenomeni di eutrofia.

Tabella 18. Livello di inquinamento espresso dai macrodescrittori LIM.

| | CLASSE 1 | CLASSE 2 | CLASSE 3 | CLASSE 4 | CLASSE 5 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| IBE | ≥ 10 | 8-9 | 6-7 | 5-4 | 1, 2, 3 |
| Livello di inquinamento dai macrodescrittori | 480-560 | 240-475 | 120-235 | 60-115 | < 60 |

Tabella 19. Stato ecologico dei corsi d'acqua (SECA).

La rete di monitoraggio ARPA in Provincia di Sondrio è stata identificata secondo i dettami previsti dalla legislazione che ne aveva richiesto l'istituzione (D. Lgs. 152/99): il numero e l'ubicazione delle stazioni si basa sulla dimensione dei bacini idrografici e sulla classificazione dei singoli corpi idrici in "significativi" o "non significativi". In Provincia di Sondrio, i corpi idrici significativi sono, oltre al Lago di Como, i fiumi Adda e Mera. Sulla base delle dimensioni dei singoli bacini, dunque, la rete di monitoraggio del reticolo idrografico superficiale consta di 9 punti di campionamento, di cui 5 sull'asta fluviale dell'Adda sopralacuale e 1 ciascuno sul fiume Mera e sui torrenti Mallero, Masino e Poschiavino (Figura 79)

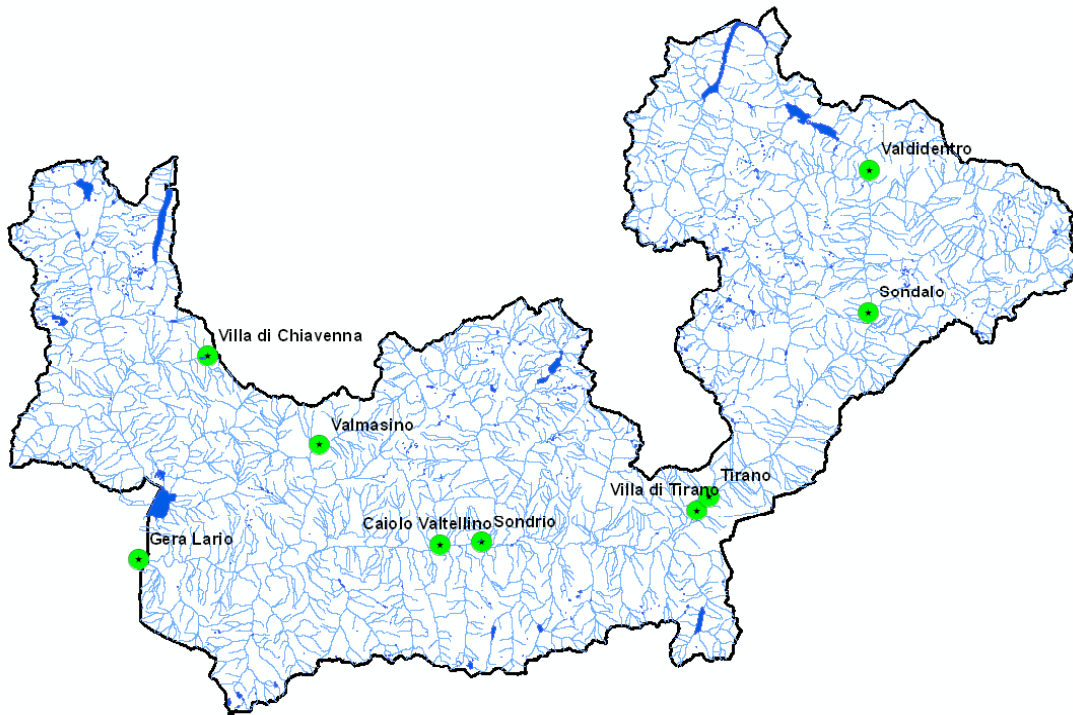


Figura 65. Rete di monitoraggio ARPA.

Sebbene la rete di monitoraggio ARPA costituisca un valido strumento per l'acquisizione di dati a scala regionale nell'ambito dell'inquadramento conoscitivo relativo al bacino del Po nella sua interezza e possa contribuire anche alla pianificazione su scala locale in taluni ambiti, è bene precisare che il numero di stazioni e la loro ubicazione, allo stato attuale, risultano essere fortemente limitanti per quanto riguarda la conoscenza della qualità delle acque del reticolo idrografico. A questo assunto consegue che la rete di monitoraggio ARPA, implementata a suo tempo per avere un quadro conoscitivo generale dell'area, e in questo utilissima, dovrà essere integrata con rilevamenti *ad hoc* laddove occorra comprendere le dinamiche locali di interazione tra fonti di inquinamento e ambienti fluviali recettori.

In questo senso è utile notare, inoltre, che alcuni bacini presentano stazioni di monitoraggio in posizioni non utili per la comprensione delle dinamiche di alterazione conseguenti all'ingresso dei principali carichi inquinanti. In particolare, il fiume Mera presenta un'unica stazione di monitoraggio a Villa di Chiavenna, poco dopo l'ingresso del fiume dal confine svizzero, che è ubicata a monte di tutte le principali immissioni di carichi inquinanti, che sono concentrate nella zona a valle dell'abitato di Chiavenna. Nel bacino del torrente Masino, gli scarichi trattati dagli impianti di depurazione presenti sono tutti posizionati a valle della stazione di monitoraggio e risulta, quindi, difficile stimare l'apporto del torrente nel modificare le caratteristiche dell'Adda. I bacini del torrente Spol e del Reno di Lei (sebbene quest'ultimo abbia una conformazione talmente particolare da non richiedere, verosimilmente, indagini relative alla qualità delle acque), infine, sono privi di stazioni di monitoraggio, così come molti bacini di torrenti, tributari dell'Adda, che sono sottoposti a diversi gradi di pressione antropica.

La rete di monitoraggio ARPA, tuttavia, è comunque in grado di fornire una serie di informazioni molto utili a comprendere quali siano, in senso generale, i punti di forza e le debolezze dell'insieme di corsi d'acqua della Provincia. I dati più aggiornati disponibili in letteratura (Provincia di Sondrio, 2007) per ciò che riguarda la qualità delle acque superficiali

monitorate attraverso la rete ARPA si riferiscono alle annate complete 2005 e 2006. E' stato valutato, come da protocollo, il 75° percentile dei dati raccolti nei 12 mesi, al fine di eliminare eventuali valori anomali che potessero influenzare l'andamento medio in maniera eccessiva, offrendo una visione distorta della sezione esaminata. I dati delle due annate sono riportati in Tabella 20 (anno 2005) ed in Tabella 21 (anno 2006).

| ANNO 2005 - fonte: Rapporto sullo stato dell'ambiente - provincia di Sondrio - anni 2005-2006 | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|----------------|------|-----|---------|-------|-------|-------|-----|-----|------|
| Sito | | 75° percentile | | | | | | | LIM | IBE | SECA |
| Corpo Idrico | Comune | 100-OD % | BOD5 | COD | E. coli | N-NH4 | N-NO3 | P-tot | | | |
| Adda | Valdidentro | 4.0 | 1.0 | 3.1 | 7 | 0.080 | 0.388 | 0.007 | 480 | 7.0 | 3 |
| Adda | Sondalo | 5.3 | 2.0 | 7.0 | 6625 | 0.105 | 1.183 | 0.034 | 350 | 5.3 | 4 |
| Adda | Villa di Tirano | 3.5 | 2.3 | 3.1 | 1775 | 0.060 | 0.453 | 0.027 | 420 | 7.1 | 3 |
| Adda | Caiolo Valtellino | 16.3 | 1.3 | 3.1 | 15500 | 0.090 | 0.613 | 0.026 | 370 | 7.4 | 3 |
| Adda | Gera Lario | 11.3 | 1.0 | 5.3 | 11750 | 0.193 | 0.763 | 0.042 | 310 | 8.4 | 2 |
| Mallero | Sondrio | 5.3 | 2.0 | 7.0 | 20000 | 0.073 | 0.780 | 0.032 | 370 | 6.4 | 3 |
| Masino | Valmasino | 4.3 | 1.0 | 2.5 | 17 | 0.015 | 0.643 | 0.004 | 520 | 8.9 | 2 |
| Poschiavino | Tirano | 9.5 | 2.0 | 6.0 | 85 | 0.060 | 0.463 | 0.017 | 440 | 6.8 | 3 |
| Mera | Villa di Chiavenna | 7.5 | 1.3 | 3.1 | 375 | 0.019 | 0.448 | 0.021 | 480 | 8.9 | 2 |

Tabella 20. Andamento dei parametri macrodescrittori, del LIM, dell'IBE e del SECA nei corsi d'acqua della Provincia di Sondrio - anno 2005.

| ANNO 2006 - fonte: Rapporto sullo stato dell'ambiente - provincia di Sondrio - anni 2005-2006 | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|----------------|------|-----|---------|-------|-------|-------|-----|-----|------|
| Sito | | 75° percentile | | | | | | | LIM | IBE | SECA |
| Corpo Idrico | Comune | 100-OD % | BOD5 | COD | E. coli | N-NH4 | N-NO3 | P-tot | | | |
| Adda | Valdidentro | 5.3 | 1.0 | 2.5 | 3 | 0.015 | 0.375 | 0.007 | 520 | 7.5 | 3 |
| Adda | Sondalo | 7.3 | 2.0 | 6.0 | 2650 | 0.238 | 1.113 | 0.044 | 360 | 5.9 | 3 |
| Adda | Villa di Tirano | 9.3 | 2.0 | 3.1 | 975 | 0.016 | 0.485 | 0.024 | 480 | 6.3 | 3 |
| Adda | Caiolo Valtellino | 23.3 | 1.3 | 2.5 | 12250 | 0.016 | 0.663 | 0.033 | 390 | 7.5 | 3 |
| Adda | Gera Lario | 10.0 | 2.0 | 3.1 | 12500 | 0.218 | 0.930 | 0.052 | 390 | 8.8 | 2 |
| Mallero | Sondrio | 8.5 | 2.0 | 6.3 | 9500 | 0.016 | 0.978 | 0.054 | 410 | 7.4 | 3 |
| Masino | Valmasino | 7.0 | 1.0 | 2.5 | 120 | 0.015 | 0.628 | 0.005 | 480 | 8.3 | 2 |
| Poschiavino | Tirano | 7.3 | 2.0 | 2.5 | 270 | 0.016 | 0.433 | 0.020 | 480 | 7.5 | 3 |
| Mera | Villa di Chiavenna | 12.3 | 1.0 | 2.5 | 513 | 0.015 | 0.533 | 0.028 | 440 | 8.7 | 2 |

Tabella 21. Andamento dei parametri macrodescrittori, del LIM, dell'IBE e del SECA nei corsi d'acqua della Provincia di Sondrio - anno 2006.

I dati disponibili mostrano alcune tendenze abbastanza consolidate. Per quanto riguarda lo stato chimico-fisico delle acque, i parametri che mostrano gli andamenti peggiori, in particolare per lunghi tratti dell'Adda e nel torrente Mallero, sono l'azoto ammoniacale e, soprattutto, l'indicatore dell'inquinamento microbiologico *Escherichia coli*. Dei sette macrodescrittori, essi sono quelli che più facilmente sono associabili a sversamenti di reflui non trattati o a effluenti di impianti di depurazione che non siano in grado di esercitare la propria azione in modo efficiente per la scarsa ossidazione dell'azoto e per la mancata disinfezione. Di conseguenza, nell'analizzare dati che, in prima istanza, descrivono una situazione qualitativamente piuttosto buona (tutte le stazioni rientrano nelle classi LIM 1 o 2, che sono considerate l'obiettivo finale delle azioni di risanamento richieste dal D. Lgs. 152/99 e dal Programma di Tutela e Uso delle Acque della Regione Lombardia), occorre notare che proprio gli indicatori più strettamente correlabili a sversamenti non controllati

all'interno del reticolo idrografico sono quelli con le concentrazioni più preoccupanti. Diretta conseguenza di questo rilevamento è che qualsiasi analisi volta a determinare i carichi inquinanti gravanti sui diversi sottobacini della Provincia di Sondrio non può esimersi da considerare la necessità di individuare e caratterizzare l'insieme degli scarichi non collettati, non depurati o, comunque, non perfettamente trattati che normalmente costituiscono una presenza inevitabile nelle aree di montagna, dove è più difficile raggiungere l'obiettivo di totale collettamento agli impianti di depurazione esistenti. Di tale presupposto occorrerà tenere conto successivamente, quando si analizzeranno i carichi inquinanti gravanti sui diversi bacini della Provincia di Sondrio provenienti dagli impianti di depurazione attualmente operativi: in corsi d'acqua caratterizzati da scarse portate, gli sversamenti non trattati provenienti da insediamenti anche piccoli e il carico inquinante di origine diffusa (primariamente di origine agricola e/o zootecnica) possono influire anche pesantemente sulla qualità attesa e devono necessariamente essere oggetto di un'indagine mirata all'atto di individuare il DMV da assegnare ad una singola concessione di derivazione, in chiave diluitiva.

L'analisi dei dati ARPA del 2005 e del 2006 offre anche un altro elemento analitico di estremo interesse, forse il più importante: in entrambi gli anni è osservabile una discrepanza tra i valori LIM e i valori IBE, con una netta perdita di qualità se si considerano questi ultimi. Nel 2005, solo una stazione presentava lo stesso livello nella classe LIM e nella classe IBE (l'Adda a Gera Lario, classe 2), mentre le altre stazioni presentavano valori di IBE sempre inferiori. In due casi, addirittura, l'IBE presentava un salto di due classi verso il basso: a Valdidentro (da classe 1 LIM a classe 3 IBE) e a Sondalo (da classe 2 LIM a classe 4 IBE), stazioni entrambe ubicate sull'Adda (Figura 66).

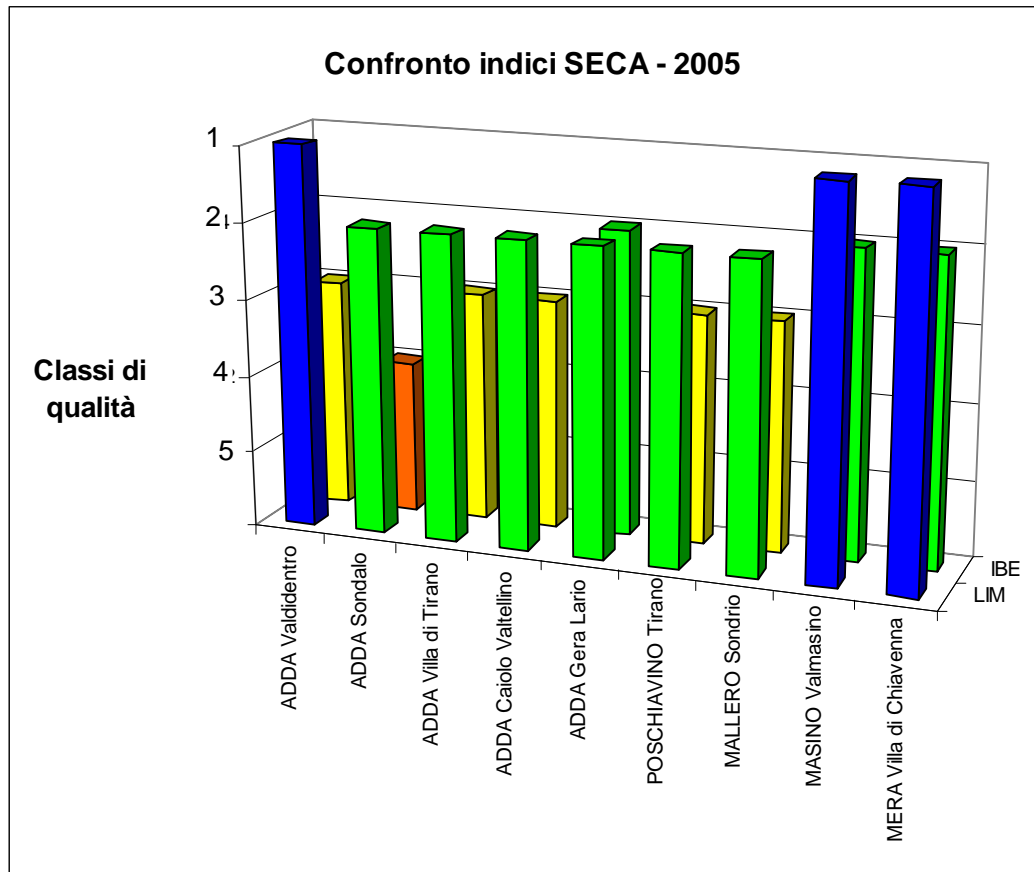


Figura 66. Classi di qualità LIM e IBE nelle diverse stazioni ARPA della Provincia di Sondrio, anno 2005.

Nel 2006 (Figura 67), pur in presenza di un punteggio SECA sostanzialmente identico e, anzi, leggermente migliore (nessuna stazione in classe 4), la discrepanza tra LIM e IBE risultava aumentata, con ben tre stazioni aventi una differenza di due classi (l'Adda a Valdidentro e a Villa di Tirano, il Poschiavino a Tirano) e, anche in questo caso, solo una minoranza di stazioni (due) aventi classi LIM e IBE comparabili (l'Adda a Gera Lario e il Mera a Villa di Chiavenna, in classe 2).

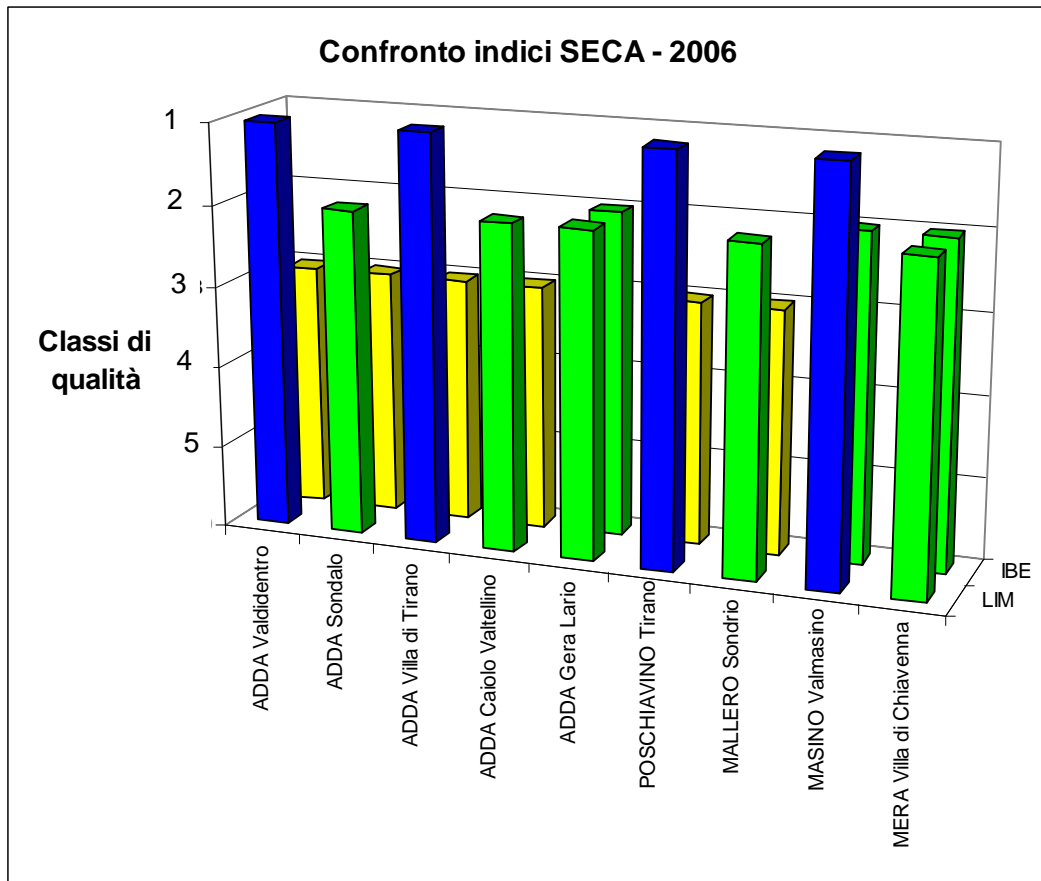


Figura 67. Classi di qualità LIM e IBE nelle diverse stazioni ARPA della Provincia di Sondrio, anno 2006.

La discrepanza tra classi LIM (generalmente attestanti una migliore qualità chimico-fisica) e classi IBE (che mostrano un grado di integrità delle comunità biologiche macroinvertebrate generalmente solo sufficiente) può essere conseguenza di diverse cause. Come prima notazione, è assiomaticamente escludibile che la qualità delle comunità bentoniche sia conseguenza diretta dello stato chimico-fisico medio delle acque. In generale, le attuali concentrazioni medie osservate per i più comuni descrittori dell'inquinamento delineano una situazione positiva, che porta a definire la qualità delle acque, nelle stazioni considerate, da buona a ottima. Possibili cause in grado di portare ad uno scadimento delle caratteristiche ecologiche dei corpi idrici devono, dunque, essere cercate in altri ambiti. In prima istanza, una possibile causa può essere la presenza di scarichi occasionali in grado di provocare fenomeni di tossicità anche acuta nelle acque. Un campanello di allarme in tal senso sono, sicuramente, le concentrazioni di azoto ammoniacale e di *E. coli* rilevate in talune stazioni. Esse, come già detto, sono normalmente associate all'ingresso nel corpo idrico di carichi inquinanti non trattati adeguatamente (o non trattati del tutto). Il rilevamento di concentrazioni elevate anche durante elaborazioni basate sull'andamento medio (con l'esclusione, per di più, del 25° percentile superiore) di tali indicatori nel corso di un intero anno lascia supporre che nelle stazioni interessate gli sversamenti di tale tipologia siano frequenti. In concomitanza con periodi di magra, particolarmente durante i minimi di portata invernale ed estivo, quando per di più vi è l'aumento del carico inquinante indotto dal turismo, è verosimile che si originino picchi di inquinamento tali da portare a fenomeni di tossicità acuti o subacuti, con conseguenze nefaste per le comunità biologiche sul lungo periodo, registrate dall'applicazione

del protocollo IBE. Altre possibili cause degli scarsi valori di IBE possono essere le fluttuazioni di portata tipiche delle aree montane, con risorse idriche intensamente utilizzate per la produzione di energia idroelettrica (periodi caratterizzati da portate eccessivamente scarse, periodi con presenza di piene di origine antropica, fenomeni di *hydropeaking*) e la banalizzazione morfologica degli alvei, in seguito ad interventi strutturali di canalizzazione, arginatura e, nuovamente, captazione delle risorse idriche. La comprensione del fenomeno della discrepanza tra qualità chimico-fisica delle acque elevata e qualità ambientale dell'ecosistema più scarsa è, dunque, legata allo studio di diversi fattori, spesso legati tra di loro ed esercitanti effetti sinergici: ne consegue che ogni singolo corso d'acqua può presentare cause differenti dagli altri e deve essere studiato non superficialmente all'atto della concessione di acque in derivazione.

Definite le caratteristiche peculiari dei corpi idrici della Provincia di Sondrio (qualità chimico-fisica delle acque buona, a fronte di valori medio-bassi di IBE), è ad ogni modo opportuno valutare l'influenza dei carichi inquinanti gravanti sui diversi bacini e provenienti dagli impianti di depurazione. Se, infatti, la qualità dell'acqua in Provincia è attualmente buona o anche ottima, è altrettanto vero che tale caratteristica desiderabile deve essere mantenuta anche in presenza di un'evoluzione degli assetti territoriali, soprattutto in virtù del fatto che le comunità biologiche già presentano, ad oggi, un notevole grado di vulnerabilità attribuibile ad altre cause (come illustrato precedentemente) ma che può essere aggravato dalla mancata diluizione dei carichi inquinanti.

Una delle principali fonti di inquinamento è data dai numerosi impianti di depurazione presenti in Provincia (Figura 68 e Tabella 22), i quali raccolgono e trattano la stragrande maggioranza dei carichi inquinanti di origine antropica. Tale azione meritoria presenta, intrinsecamente, un limite: il carico residuo comunque presente dopo i trattamenti è rilasciato nell'ambiente in modo puntuale, originando alterazioni localizzate che possono risultare particolarmente deleterie se in associazione con altri eventi, quali una contingente scarsità di portate diluenti in alveo.

Gli impianti di depurazione in Provincia di Sondrio sono ubicati sull'intero territorio provinciale, in associazione con i diversi agglomerati di insediamenti civili, industriali e turistici. Gli impianti principali servono le città di Sondrio (49500 Abitanti Equivalenti di progetto) e Bormio (40000 AE di progetto) sul fiume Adda, nonché l'abitato di Chiavenna (41500 AE di progetto) sul fiume Mera. Caratteristica della depurazione provinciale è quella di presentare un elevato numero di piccoli impianti (non superiori ai 2000 AE) distribuiti sul territorio, piuttosto che un collettamento spinto verso pochi impianti consortili di grandi dimensioni, per via della conformazione peculiare del territorio montano e vallivo. Da un lato, questo tipo di decentramento permette l'ingresso di effluenti in modo distribuito lungo tutto il reticolo idrografico, evitando carichi anomali che possano portare a criticità superiori in ambiti localizzati; d'altro canto, i numerosi piccoli impianti possono rilasciare gli effluenti in corpi idrici talora caratterizzati da portate molto contenute e da regimi torrentizi, ottenendo così proprio l'effetto, precedentemente illustrato, di eccessiva tossicità in ambiti locali che si è evitato, su scala superiore, presso lo scarico degli impianti più grossi. In ultima analisi, la presenza di numerosi piccoli impianti di depurazione rappresenta un fattore di rischio che occorre tenere in considerazione all'atto di rilasciare concessioni di derivazione anche molto modeste, se in ambiti fluviali ridotti quali i piccoli affluenti dell'Adda o del Mera, poiché in tali corpi idrici può risultare difficile garantire il potere diluente anche per carichi inquinanti di modesta entità, i quali per di più, possono essere associati, in ambiente montano, ad ulteriori carichi provenienti da aree non collettate (Comuni in quota) e da pratiche zootecniche diffuse.

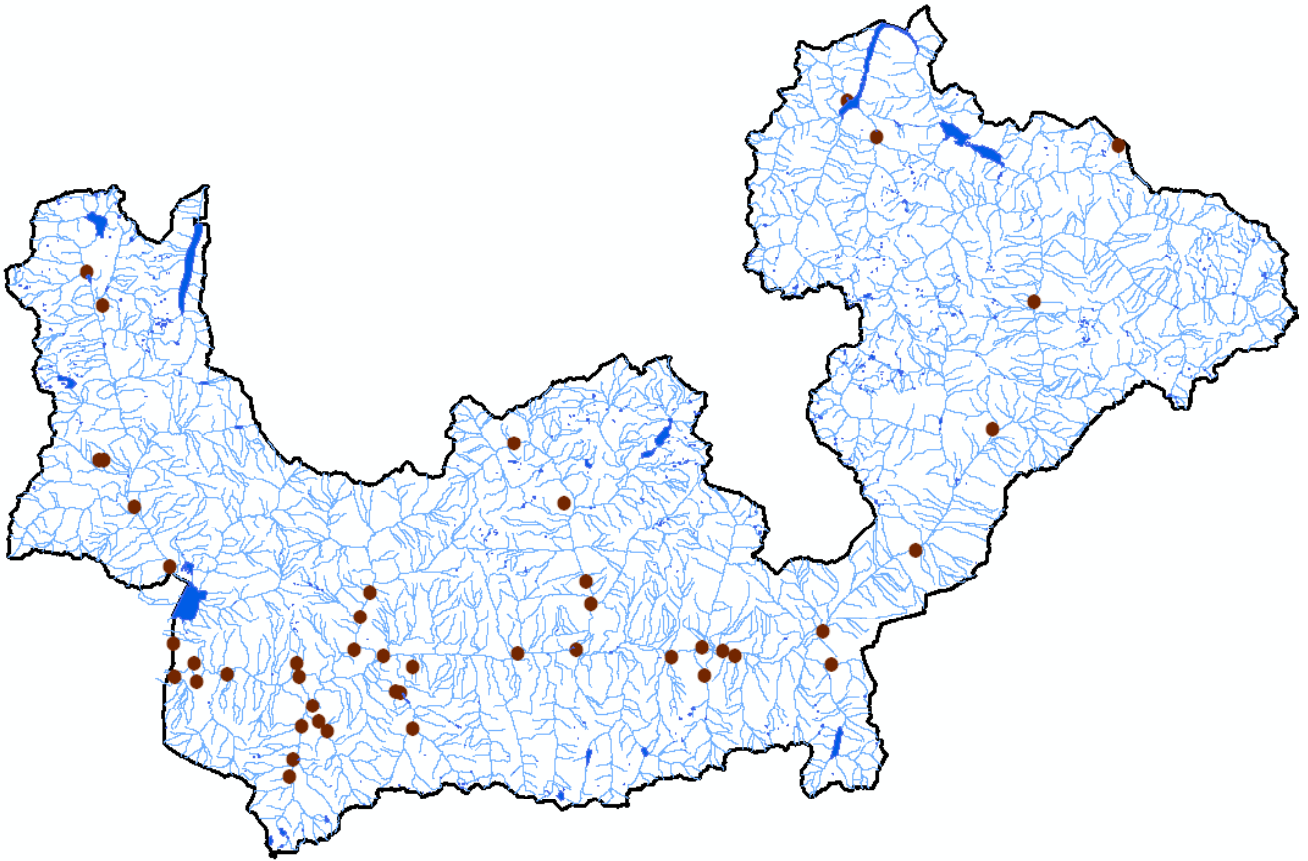


Figura 68. Localizzazione impianti di depurazione.

| Impianto | Stazione ARPA sottesa | Recettore | AE effettivi | AE progetto |
|----------|----------------------------|--------------|--------------|-------------|
| A001 | non presente (bacino Spöl) | Spöl | 11511 | 32000 |
| A002 | non presente (bacino Spöl) | Canale Torto | 1186 | 1600 |
| B001 | ADDA1 Valdidentro | Braulio | 800 | 800 |
| B002 | ADDA2 Sondalo | Adda | 24383 | 40000 |
| B003 | ADDA3 Villa di Tirano | Adda | 51 | 100 |
| B004 | ADDA3 Villa di Tirano | Adda | 15831 | 21500 |
| B005 | ADDA4 Caiolo | Adda | 247 | 300 |
| B006 | ADDA4 Caiolo | Aprica | 3231 | 9000 |
| B007 | ADDA4 Caiolo | Adda | 667 | 400 |
| B008 | ADDA4 Caiolo | Adda | 5255 | 30000 |
| B009 | ADDA4 Caiolo | Armisa | 72 | 100 |
| B010 | ADDA4 Caiolo | Adda | 36732 | 49500 |
| B011 | ADDA4 Caiolo | Adda | 1500 | 1500 |
| B012 | ADDA5 Gera | Adda | 150 | 150 |
| B013 | ADDA5 Gera | Adda | 17761 | 35000 |
| B014 | ADDA5 Gera | Tartano | 97 | 800 |
| B015 | ADDA5 Gera | Tartano | 77 | 600 |
| B016 | ADDA5 Gera | Tartano | 137 | 175 |
| B017 | ADDA5 Gera | Masino | 2119 | 5000 |
| B018 | ADDA5 Gera | Masino | 400 | 400 |
| B019 | ADDA5 Gera | Masino | 1060 | 4365 |
| B020 | ADDA5 Gera | Adda | 16187 | 18000 |
| B021 | ADDA5 Gera | Bitto | 310 | 400 |
| B022 | ADDA5 Gera | Bitto | 234 | 250 |
| B023 | ADDA5 Gera | Bitto | 138 | 500 |
| B024 | ADDA5 Gera | Bitto | 511 | 700 |
| B025 | ADDA5 Gera | Bitto | 80 | 100 |
| B026 | ADDA5 Gera | Bitto | 102 | 150 |
| B027 | ADDA5 Gera | Adda | 206 | 600 |
| B028 | ADDA5 Gera | Adda | 14632 | 30065 |
| B029 | ADDA5 Gera | Adda | 3666 | 3000 |
| B030 | ADDA5 Gera | Adda | 1527 | 1200 |
| B031 | ADDA5 Gera | Adda | 2019 | 2500 |
| B032 | MALLERO Sondrio | Mallero | 228 | 300 |
| B033 | MALLERO Sondrio | Mallero | 216 | 300 |
| B034 | MALLERO Sondrio | Mallero | 8606 | 20500 |
| B035 | MALLERO Sondrio | Mallero | 194 | 200 |
| D001 | Non presente (Mera) | Mera | 167 | 200 |
| D002 | Non presente (Mera) | Mera | 158 | 200 |
| D003 | Non presente (Mera) | Crezza | 55 | 100 |
| D004 | Non presente (Mera) | Crezza | 92 | 100 |
| D005 | Non presente (Mera) | Mera | 23796 | 41500 |
| D006 | Non presente (Mera) | Mera | 6668 | 8500 |

Tabella 22. Elenco degli impianti di depurazione presenti in Provincia di Sondrio (sono esclusi gli impianti il cui effluente è scaricato al di fuori del reticolo idrografico lotico). Le dimensioni sono indicate dagli Abitanti Equivalenti (AE) effettivamente in esercizio e dagli AE massimi di progetto.

Al fine di valutare la consistenza (e dunque l'impatto potenziale) dei carichi inquinanti in uscita dagli impianti di depurazione presenti sul territorio provinciale, si è provveduto a stimare il carico inquinante residuo, successivamente ai trattamenti, per ciascuno di essi. A tal

fine, è stata considerata una dotazione idrica giornaliera per AE pari a 300 L/giorno (L/d), di cui è stato utilizzato l'80% (pari a 240 L/dAE) per valutare le perdite fognarie. A scopo cautelativo, come concentrazione all'uscita degli impianti è stato considerato il limite massimo previsto dalla legislazione (Tabella 23), con le correzioni previste per gli impianti di diverse dimensioni che scaricano in aree considerate sensibili (Adda e Mera – Tabella 24) e per gli impianti di diverse dimensioni atti al trattamento dei reflui urbani (Tabella 25).

| 152/99 - Limiti allo Scarico | |
|--|------|
| BOD ₅ (mg/L) | 40 |
| COD (mg/L) | 160 |
| N-NH ₄ (mg/L) | 15 |
| N-NO ₃ (mg/L) | 20 |
| P-tot (mg/L) | 10 |
| <i>E. coli</i> (UFC/100ml) (consigliato) | 5000 |

Tabella 23. Limiti allo scarico per gli impianti di depurazione.

| 152/99 AREE SENSIBILI (LAGO, ADDA, MERA) | | |
|--|-----------------|------------|
| | 10000-100000 AE | 100000+ AE |
| P-tot (mg/L) | 2 | 1 |
| N-tot (mg/L) | 15 | 10 |

Tabella 24. Limiti allo scarico correttivi per le aree sensibili.

| 152/99 REFLUI URBANI | | |
|-------------------------|---------------|-----------|
| | 2000-10000 AE | 10000+ AE |
| BOD ₅ (mg/L) | 25 | 25 |
| COD (mg/L) | 125 | 125 |
| SST (mg/L) | 35 | 35 |

Tabella 25. Limiti allo scarico correttivi per gli impianti che trattano reflui urbani.

In base al semplice assunto che un carico inquinante è funzione della concentrazione dell'inquinante stesso per la portata, e avendo determinato con buona approssimazione, su scala vasta, le portate e le concentrazioni attese agli scarichi di ciascun impianto, è stato possibile quantificare il carico gravante per ciascun sottobacino, dato dalla somma dei carichi originatisi da ciascun impianto di depurazione nel sottobacino stesso. La stima dei carichi per le aste fluviali principali è riportata in Tabella 26, ed è stata effettuata, ove possibile, aggregando i carichi nei diversi sottobacini sottesi ad ogni stazione ARPA, al fine di avere un successivo elemento di confronto con dati raccolti sul campo. Fanno eccezione lo Spöl (i cui carichi sono stati stimati nel loro complesso in assenza di una stazione di rilevamento dei dati), il Mera (i cui carichi inquinanti entrano nel fiume tutti a valle della stazione ARPA di Villa di Chiavenna e di cui, quindi, è stata considerata la foce come punto di chiusura del sottobacino), il Masino (i cui carichi inquinanti entrano nel fiume tutti a valle della stazione ARPA di Valmasino e che, quindi, sono stati adottati direttamente alla stazione dell'Adda a Gera Lario) e il Poschiavino (che non presenta carichi inquinanti in ingresso nel tratto italiano).

| Carico giornaliero gravante sui sottobacini | | | | | | |
|---|-------------|------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|
| Sottobacino | BOD5 (Kg/d) | COD (Kg/d) | N-NH4 (Kg/d) | N-NO3 (Kg/d) | P-tot (Kg/d) | E. coli (UFC/d) |
| SPÖL | 80.5 | 390.9 | 45.7 | 60.9 | 30.5 | 1.5*10 ¹¹ |
| ADDA1 Valdidentro | 7.7 | 30.7 | 2.9 | 3.8 | 1.9 | 9.6*10 ⁹ |
| ADDA2 Sondalo | 146.3 | 731.5 | 29.3 | 58.5 | 11.7 | 2.9*10 ¹¹ |
| ADDA3 Villa di Tirano | 95.5 | 476.9 | 19.2 | 38.2 | 7.7 | 1.9*10 ¹¹ |
| ADDA4 Caiolo | 295.2 | 1452.0 | 71.0 | 128.2 | 33.9 | 5.7*10 ¹¹ |
| ADDA5 Gera | 386.6 | 1884.6 | 104.5 | 178.2 | 54.1 | 7.4*10 ¹¹ |
| MALLERO Sondrio | 57.8 | 282.7 | 33.3 | 44.4 | 22.2 | 1.1*10 ¹¹ |
| MERA | 187.3 | 932.0 | 54.3 | 91.4 | 28.6 | 3.7*10 ¹¹ |

Tabella 26. Carichi inquinanti in ingresso ai corsi d'acqua, divisi per sottobacini.

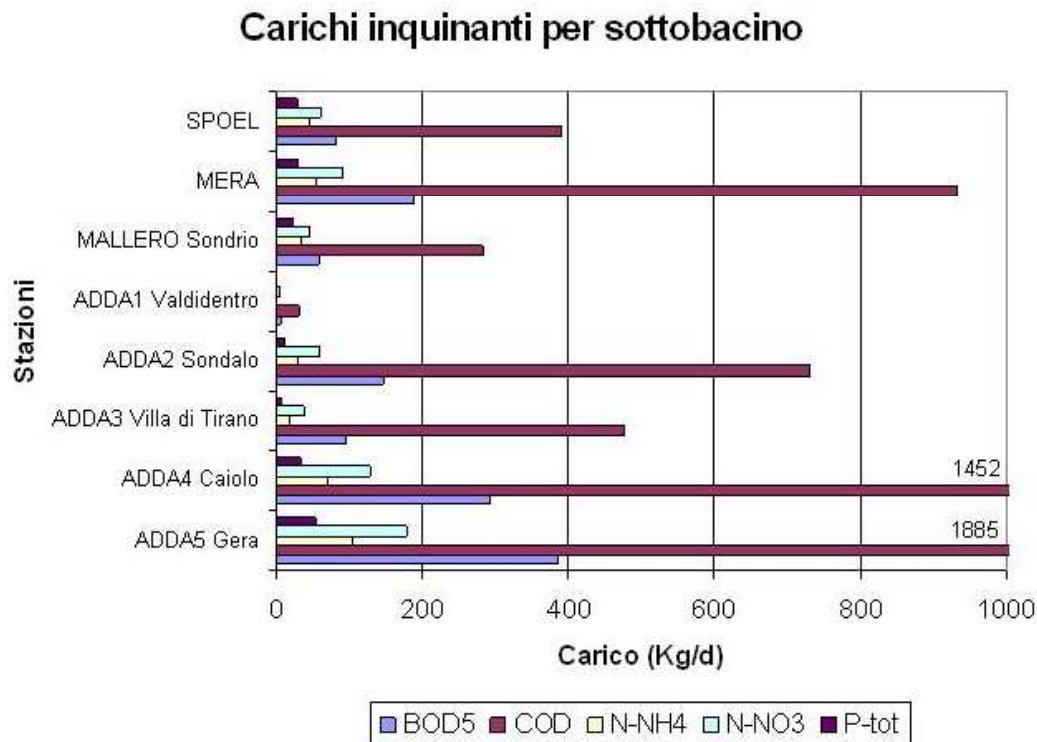


Figura 69. Carichi inquinanti (in Kg/giorno) dei principali descrittori chimici gravanti su ciascun sottobacino.

Particolarmente consistenti sono i carichi adottati nell'ultimo tratto dell'Adda, nei sottobacini sottesi a Caiolo (dove recapita, tra gli altri, l'impianto di depurazione di Sondrio) e a Gera Lario (con un cospicuo numero di impianti recapitanti sia nell'Adda, ivi compreso il depuratore di Morbegno, che nei suoi affluenti), nonché, anche se in misura minore, i carichi gravanti sul Mera e sul sottobacino dell'Adda sotteso alla stazione di Sondalo, dove recapita l'impianto di depurazione di Bormio (Figura 69). E' bene ribadire che il carico inquinante non è di per sé impattante, ma dipende strettamente dalla quantità d'acqua del corpo idrico recettore. Conseguenza di ciò è che un carico inquinante, per quanto imponente, esercita un effetto sull'ambiente in cui viene sversato che è funzione della portata diluente disponibile. Nel determinare una concentrazione attesa in un corso d'acqua, come nel caso della soglia minima di una classe di qualità, occorre quindi agire su uno di due fattori specifici (o su entrambi): le dimensioni del carico inquinante e la portata presente in alveo.

Una volta determinato il carico gravante su ogni sottobacino, come visto in Tabella 26, sono state considerate le diluizioni offerte in tre scenari: le portate medie annue naturali, rappresentative di una situazione ottimale, con le risorse idriche, in ciascun corso d'acqua, proprie di un anno idrologico medio e senza fattori perturbativi di origine antropica; le portate medie annue antropizzate, rappresentative delle portate medie annue in una situazione che tiene conto degli usi plurimi delle acque che vengono attualmente posti in essere sul territorio provinciale; le portate medie annue antropizzate di magra, rappresentative di uno scenario del tipo “peggior caso possibile”, in cui le portate presenti sono quelle dei periodi più asciutti dell'anno in presenza dei vari sfruttamenti della risorsa idrica ad uso umano (Tabella 27).

Gli scenari riferiti alle portate medie annue antropizzate e alle portate medie annue antropizzate di magra, a differenza dello scenario riferito alle portate medie annue naturali, sono da considerare propriamente come *scenari di rischio di inquinamento LIM*. Infatti le portate sono state stimate, con i criteri esposti nel par. 5.3.3 e segg., come portate conseguenti ad un *rischio di derivazione*, ammettendo che le utilizzazioni idroelettriche derivino l'intera portata media annua disponibile nella sezione di derivazione a meno del DMV 10 %. Inoltre per il calcolo dei carichi rilasciati dai depuratori nei corsi d'acqua sono stati considerati gli abitanti equivalenti di progetto e non gli abitanti attuali.

| Stazione | Corpo idrico | portata media naturale [m ³ /s] | portata media antropizzata [m ³ /s] | portata di magra antropizzata [m ³ /s] |
|--------------------|----------------------|--|--|---|
| Valdidentro | Fiume Adda | 2.284 | 0.751 | 0.248 |
| Sondalo | Fiume Adda | 14.220 | 3.470 | 1.619 |
| Tirano | Torrente Poschiavino | 7.400 | 0.738 | 0.041 |
| Villa di Tirano | Fiume Adda | 31.490 | 10.284 | 2.691 |
| Sondrio | Torrente Mallero | 11.245 | 7.115 | 1.043 |
| Caiolo Valtellino | Fiume Adda | 61.731 | 64.224 | 9.616 |
| Valmasino | Torrente Masino | 1.326 | 1.326 | 0.096 |
| Gera Lario | Fiume Adda | 84.942 | 84.898 | 10.394 |
| Villa di Chiavenna | Fiume Mera | 9.920 | | |

Tabella 27. Portate medie annue naturali, antropizzate e portate di magra alle stazioni ARPA.

In prima istanza, al fine di poter eseguire un confronto tra gli scenari modellizzati e la situazione reale, sono stati valutati i dati ottenuti dall'interpolazione tra le portate nei tre scenari e i carichi inquinanti per quei sottobacini in grado di soddisfare due requisiti: la presenza di una sezione ARPA in cui fossero stati raccolti dei dati di qualità dell'acqua e la presenza di carichi inquinanti a monte della stazione ARPA stessa. In assenza di tali requisiti, non è stato possibile procedere alla taratura del modello (ossia al confronto tra le concentrazioni ottenute mediante l'uso del modello e le concentrazioni riscontrate nella sezione campionata), per cui risultano assenti, in tale confronto, i bacini dello Spöl e del Reno di Lei (assenza di una stazione ARPA), del Mera e del Mallero (assenza di una stazione ARPA a valle dell'ingresso dei carichi inquinanti), del Poschiavino (assenza di carichi inquinanti in ingresso in territorio italiano). Lo Spöl, il Reno di Lei, il Poschiavino e il Mera non sono stati utilizzati per il confronto. I carichi inquinanti provenienti dal Mallero sono stati direttamente inseriti alla stazione di chiusura del sottobacino dell'Adda di Gera Lario, sottobacino di cui il Mallero fa parte.

E' bene precisare che, essendo i dati qui presentati atti unicamente a valutazioni di tipo pianificatorio sul potere diluente dei corpi idrici rispetto allo scarico degli impianti di depurazione, il modello utilizzato è di forma semplice e non tiene conto, da un lato, degli scarichi non collettati e non trattati, nonché degli apporti diffusi (sottostima dei carichi complessivi) e, dall'altro, della degradazione degli inquinanti in alveo per via del potere autodepurante dei corpi idrici (sovrastima dei carichi complessivi). Sono state considerate le concentrazioni ottenibili con due tipologie di carichi: quelli prodotti dagli AE effettivamente trattati allo stato attuale dagli impianti di depurazione (Tabella 28, Tabella 29 e Tabella 30) e quelli prodotti considerando il massimo degli AE di progetto per ciascun impianto (Tabella 31, Tabella 32 e Tabella 33).

| | Concentrazioni (AE effettivi) con Q medie annue naturali | | | | | |
|--------------------------|--|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------------------|
| | BOD ₅ (mg/L) | COD (mg/L) | N-NH ₄ (mg/L) | N-NO ₃ (mg/L) | P-tot (mg/L) | <i>E. coli</i> (UFC/100ml) |
| ADDA 1 Valdidentro | 0.0 | 0.1 | 0.015 | 0.019 | 0.010 | 5 |
| ADDA 2 Sondalo | 0.1 | 0.6 | 0.074 | 0.098 | 0.049 | 25 |
| ADDA 3 Villa di Tirano | 0.1 | 0.5 | 0.054 | 0.072 | 0.036 | 18 |
| ADDA 4 Caiolo Valtellina | 0.1 | 0.6 | 0.071 | 0.095 | 0.047 | 24 |
| ADDA 5 Gera Lario | 0.1 | 0.7 | 0.081 | 0.108 | 0.054 | 27 |
| MALLERO Sondrio | 0.1 | 0.3 | 0.034 | 0.046 | 0.023 | 11 |

Tabella 28. Concentrazioni dei parametri LIM alle diverse sezioni ARPA in presenza di portate medie annue naturali, con impianti di depurazione che trattano gli AE effettivi.

| | Concentrazioni (AE effettivi) con Q medie annue antropizzate | | | | | |
|--------------------------|--|------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------|-------------------------------|
| | BOD ₅ (mg/L) | COD (mg/L) | N-NH ₄ (mg/L) | N-NO ₃ (mg/L) | P-tot (mg/L) | <i>E. coli</i> (UFC/100ml) |
| ADDA 1 Valdidentro | 0.1 | 0.4 | 0.044 | 0.059 | 0.030 | 15 |
| ADDA 2 Sondalo | 0.5 | 2.5 | 0.302 | 0.403 | 0.202 | 101 |
| ADDA 3 Villa di Tirano | 0.3 | 1.4 | 0.166 | 0.222 | 0.111 | 55 |
| ADDA 4 Caiolo Valtellina | 0.1 | 0.6 | 0.068 | 0.091 | 0.046 | 23 |
| ADDA 5 Gera Lario | 0.1 | 0.7 | 0.081 | 0.108 | 0.054 | 27 |
| MALLERO Sondrio | 0.1 | 0.5 | 0.054 | 0.072 | 0.036 | 18 |

Tabella 29. Concentrazioni dei parametri LIM alle diverse sezioni ARPA in presenza di portate medie annue antropizzate, con impianti di depurazione che trattano gli AE effettivi.

| | Concentrazioni (AE effettivi) con Q magra antropizzate | | | | | |
|--------------------------|--|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------------------|
| | BOD ₅ (mg/L) | COD (mg/L) | N-NH ₄ (mg/L) | N-NO ₃ (mg/L) | P-tot (mg/L) | <i>E. coli</i> (UFC/100ml) |
| ADDA 1 Valdidentro | 0.2 | 1.1 | 0.134 | 0.179 | 0.090 | 448 |
| ADDA 2 Sondalo | 1.1 | 5.4 | 0.648 | 0.864 | 0.432 | 2161 |
| ADDA 3 Villa di Tirano | 1.1 | 5.3 | 0.636 | 0.848 | 0.424 | 2120 |
| ADDA 4 Caiolo Valtellina | 0.8 | 3.8 | 0.457 | 0.610 | 0.305 | 1524 |
| ADDA 5 Gera Lario | 1.1 | 5.5 | 0.661 | 0.882 | 0.441 | 2204 |
| MALLERO Sondrio | 0.6 | 3.1 | 0.369 | 0.492 | 0.246 | 1231 |

Tabella 30. Concentrazioni dei parametri LIM alle diverse sezioni ARPA in presenza di portate antropizzate di magra, con impianti di depurazione che trattano gli AE effettivi.

| | Concentrazioni (AE di progetto) con Q medie annue naturali | | | | | |
|--------------------------|--|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------------------|
| | BOD ₅ (mg/L) | COD (mg/L) | N-NH ₄ (mg/L) | N-NO ₃ (mg/L) | P-tot (mg/L) | <i>E. coli</i> (UFC/100ml) |
| ADDA 1 Valdidentro | 0.0 | 0.1 | 0.015 | 0.019 | 0.010 | 5 |
| ADDA 2 Sondalo | 0.2 | 1.0 | 0.120 | 0.159 | 0.080 | 40 |
| ADDA 3 Villa di Tirano | 0.1 | 0.7 | 0.083 | 0.110 | 0.055 | 28 |
| ADDA 4 Caiolo Valtellina | 0.2 | 1.0 | 0.126 | 0.168 | 0.084 | 42 |
| ADDA 5 Gera Lario | 0.2 | 1.2 | 0.141 | 0.188 | 0.094 | 47 |
| MALLERO Sondrio | 0.1 | 0.7 | 0.079 | 0.105 | 0.053 | 26 |

Tabella 31. Concentrazioni dei parametri LIM alle diverse sezioni ARPA in presenza di portate medie annue naturali, con impianti di depurazione che trattano gli AE di progetto.

| | Concentrazioni (AE di progetto) con Q medie annue antropizzate | | | | | |
|--------------------------|--|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------------------|
| | BOD ₅ (mg/L) | COD (mg/L) | N-NH ₄ (mg/L) | N-NO ₃ (mg/L) | P-tot (mg/L) | <i>E. coli</i> (UFC/100ml) |
| ADDA 1 Valdidentro | 0.1 | 0.4 | 0.044 | 0.059 | 0.030 | 15 |
| ADDA 2 Sondalo | 0.8 | 4.1 | 0.490 | 0.653 | 0.327 | 163 |
| ADDA 3 Villa di Tirano | 0.4 | 2.1 | 0.253 | 0.337 | 0.169 | 84 |
| ADDA 4 Caiolo Valtellina | 0.2 | 1.0 | 0.121 | 0.161 | 0.081 | 40 |
| ADDA 5 Gera Lario | 0.2 | 1.2 | 0.141 | 0.188 | 0.094 | 47 |
| MALLERO Sondrio | 0.2 | 1.0 | 0.125 | 0.166 | 0.083 | 42 |

Tabella 32. Concentrazioni dei parametri LIM alle diverse sezioni ARPA in presenza di portate medie annue antropizzate, con impianti di depurazione che trattano gli AE di progetto.

| | Concentrazioni (AE di progetto) con Q magra antropizzate | | | | | |
|--------------------------|--|---------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------------------|
| | BOD ₅ (mg/L) | COD (mg/L) | N-NH ₄ (mg/L) | N-NO ₃ (mg/L) | P-tot (mg/L) | <i>E. coli</i> (UFC/100ml) |
| ADDA 1 Valdidentro | 0.2 | 1.1 | 0.134 | 0.179 | 0.090 | 448 |
| ADDA 2 Sondalo | 1.8 | 8.8 | 1.050 | 1.400 | 0.700 | 3501 |
| ADDA 3 Villa di Tirano | 1.6 | 8.1 | 0.966 | 1.288 | 0.644 | 3221 |
| ADDA 4 Caiolo Valtellina | 1.3 | 6.7 | 0.809 | 1.078 | 0.539 | 2695 |
| ADDA 5 Gera Lario | 1.9 | 9.6 | 1.155 | 1.540 | 0.770 | 3849 |
| MALLERO Sondrio | 1.4 | 7.1 | 0.851 | 1.135 | 0.567 | 2837 |

Tabella 33. Concentrazioni dei parametri LIM alle diverse sezioni ARPA in presenza di portate antropizzate di magra, con impianti di depurazione che trattano gli AE di progetto.

Dalle elaborazioni risulta un prodotto che mostra un intervallo compreso tra due serie di valori, definibili come il “caso migliore” e il “caso peggiore”. Da un lato (“caso migliore”), si hanno carichi inquinanti originatisi dal trattamento degli AE attualmente gravanti sugli impianti della Provincia di Sondrio, diluiti in corpi idrici che presentano portate elevate in virtù del fatto che sono considerate le portate medie annue. Dall’altro (“caso peggiore”), invece, è mostrato il caso in cui carichi più consistenti (corrispondenti al massimo della ricettività, in AE, di ciascun impianto) subiscono una diluizione decisamente più bassa per la presenza, in alveo, di portate di magra (la portata media mensile più bassa dell’intero anno) nel contesto degli attuali usi plurimi della risorsa idrica disponibile. La differenza è piuttosto marcata, con il transito in molte delle sezioni considerate, nel caso peggiore, di acque con

elevate concentrazioni di inquinanti, in particolare per quel che riguarda il COD, l'azoto ammoniacale e il fosforo totale.

Se si comparano le concentrazioni di inquinanti riscontrabili nei tre scenari (“portata media annua naturale”, portata media annua antropizzata” e “portata media annua antropizzata di magra”) relativi agli AE di progetto con le concentrazioni determinate al 75° percentile dall'ARPA nell'anno 2006 (dalla Figura 70 alla Figura 75), sono possibili ulteriori considerazioni.

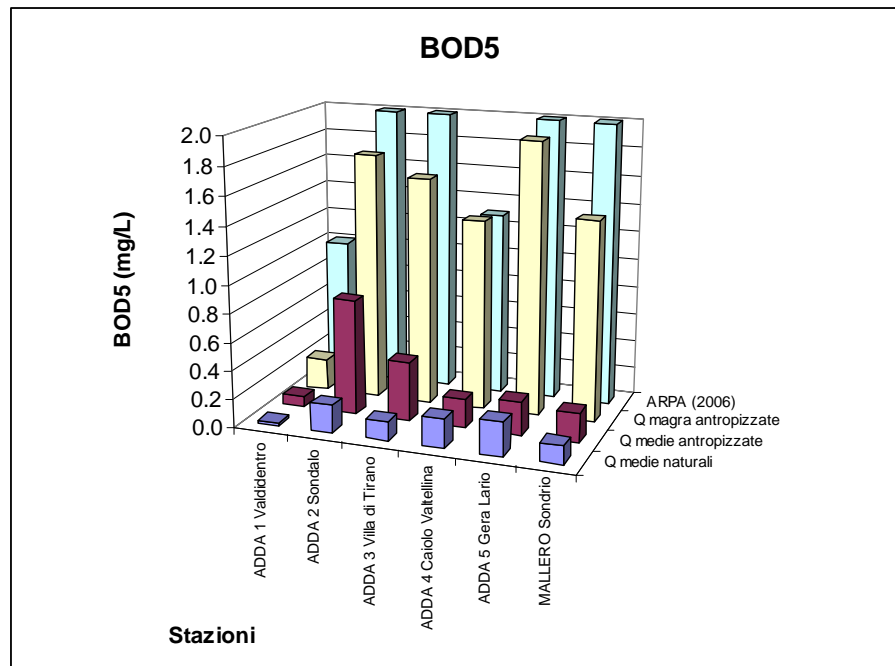


Figura 70. Concentrazioni di BOD₅ alle sezioni ARPA considerate negli scenari “portata media annua naturale” (blu), “portata media annua antropizzata” (viola), “portata media annua antropizzata di magra” (bianco) e determinate dall'ARPA (2006).

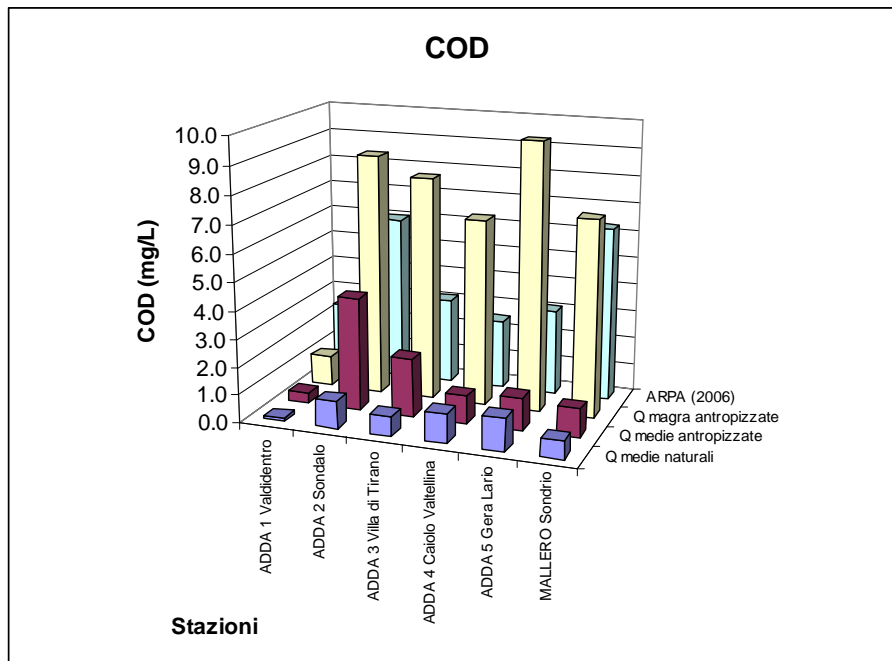


Figura 71. Concentrazioni di COD alle sezioni ARPA considerate negli scenari “portata media annua naturale” (blu), “portata media annua antropizzata” (viola), “portata media annua antropizzata di magra” (bianco) e determinate dall’ARPA (2006).

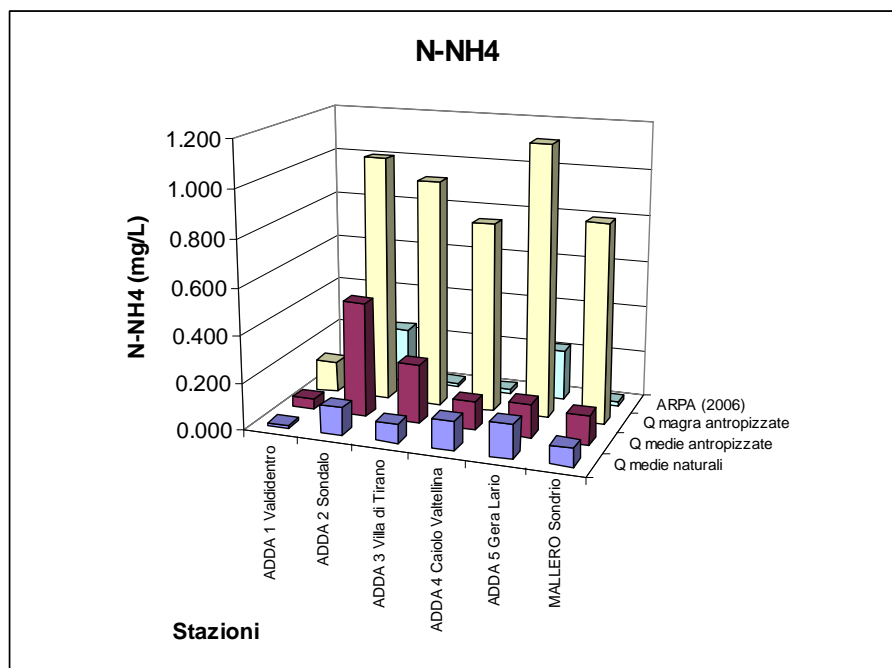


Figura 72. Concentrazioni di N-NH₄ alle sezioni ARPA considerate negli scenari “portata media annua naturale” (blu), “portata media annua antropizzata” (viola), “portata media annua antropizzata di magra” (bianco) e determinate dall’ARPA (2006).

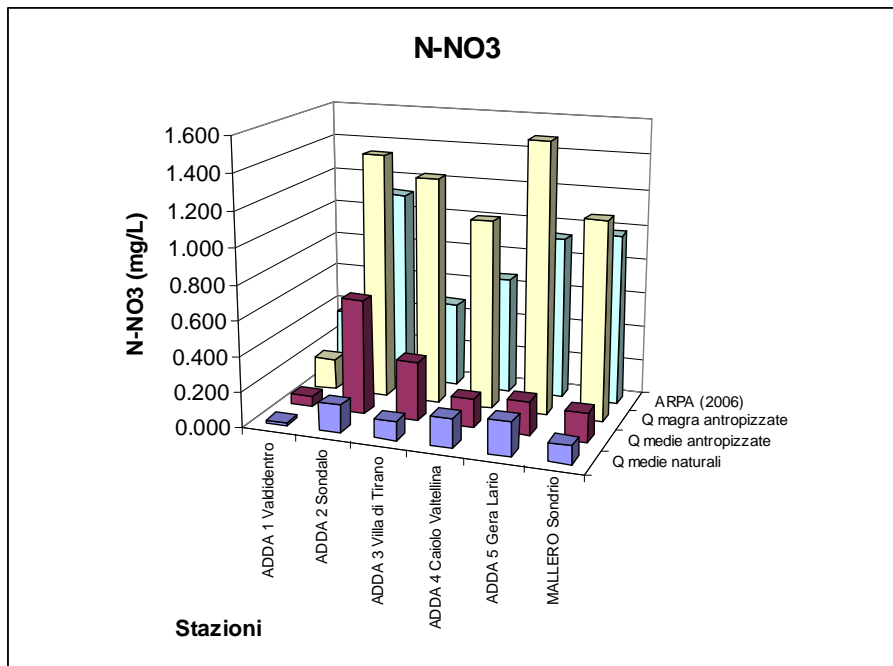


Figura 73. Concentrazioni di N-NO₃ alle sezioni ARPA considerate negli scenari “portata media annua naturale” (blu), “portata media annua antropizzata” (viola), “portata media annua antropizzata di magra” (bianco) e determinate dall’ARPA (2006).

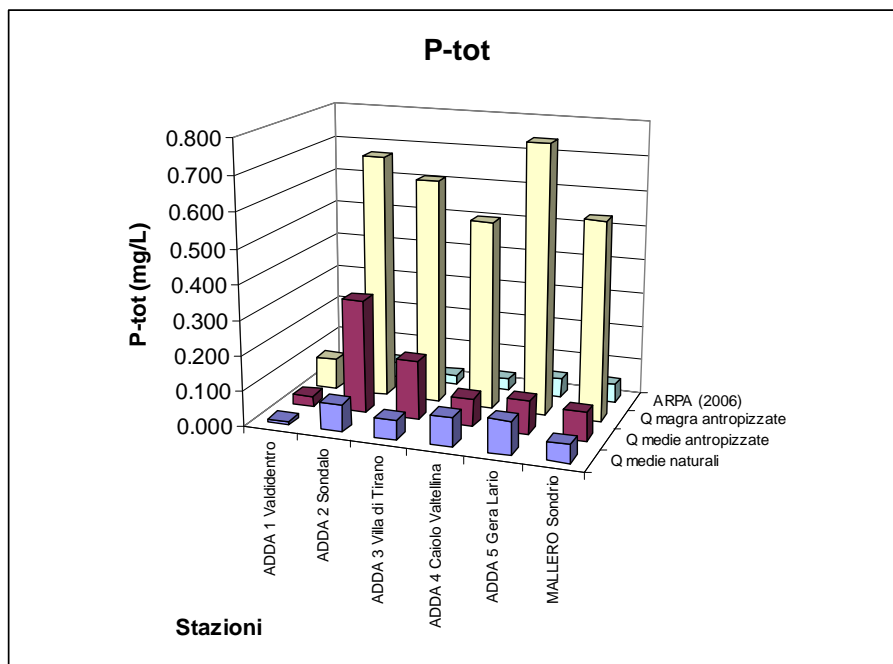


Figura 74. Concentrazioni di P-tot alle sezioni ARPA considerate negli scenari “portata media annua naturale” (blu), “portata media annua antropizzata” (viola), “portata media annua antropizzata di magra” (bianco) e determinate dall’ARPA (2006).

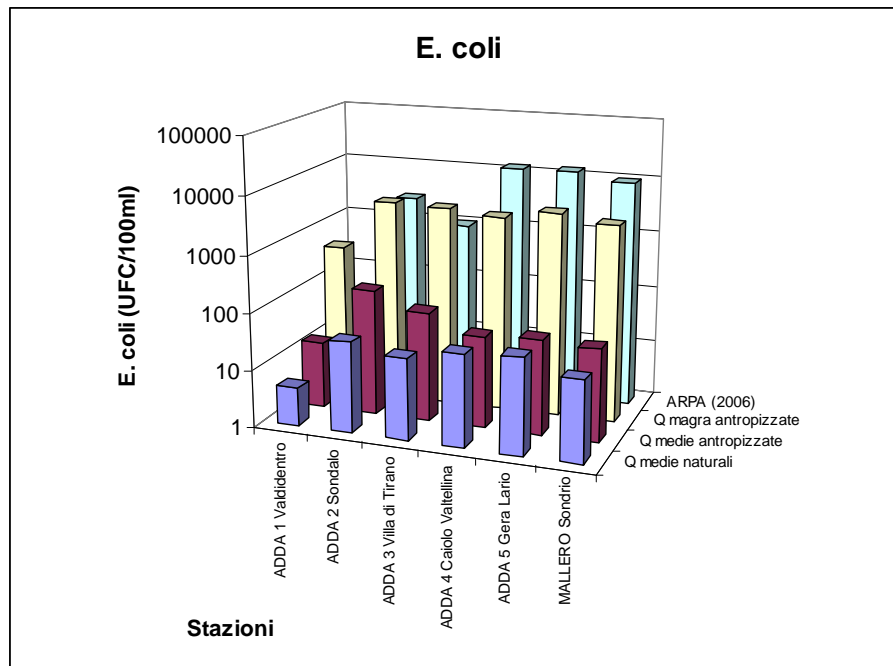


Figura 75. Concentrazioni di *E. coli* alle sezioni ARPA considerate negli scenari “portata media annua naturale” (blu), “portata media annua antropizzata” (viola), “portata media annua antropizzata di magra” (bianco) e determinate dall’ARPA (2006).

All’ovvio aumento generalizzato delle concentrazioni nel passaggio dallo scenario “portata media annua naturale” allo scenario “portata media annua antropizzata” ed infine allo scenario “portata media annua antropizzata di magra”, conseguente alla diminuzione della capacità diluente dei recettori in presenza del medesimo carico inquinante gravante sui sottobacini, è possibile associare l’andamento delle concentrazioni effettivamente rilevate. Tale andamento può rapportarsi alle concentrazioni degli scenari in molteplici modi.

In presenza di un indicatore sufficientemente conservativo (ossia che non sia soggetto a cinetiche di degradazione molto veloci, non considerate dal modello) e che si origini in massima parte dagli effluenti degli impianti di depurazione, il comportamento atteso sarà quello di una concentrazione rilevata da ARPA che sia intermedia tra le concentrazioni determinate nei due scenari “portata media annua antropizzata” e “portata media annua antropizzata di magra”, essendo i campionamenti eseguiti da ARPA associabili ad andamenti medi annui in una situazione di sfruttamento delle risorse idriche con l’aggiunta di apporti non quantificati nel modello quali gli scarichi non collettati e gli apporti da carichi inquinanti diffusi come ad esempio quelli originati dalle pratiche agricole. Effettivamente, tale comportamento si riscontra per l’azoto nitrico e, nella maggioranza delle stazioni, per il COD, che sono i due parametri conservativi più facilmente associabili agli impianti di depurazione. Occorre notare che, mentre ci si aspetterebbe che le concentrazioni rilevate sul campo da ARPA fossero più vicine a quelle dello scenario “portata media annua antropizzata” (essendo il 75° percentile calcolato da ARPA calcolato su 12 campioni distribuiti nei diversi mesi dell’anno e, a causa dell’operatore statistico utilizzato, privati dei picchi più elevati nella concentrazione rilevata) esse sono, in realtà, confrontabili con quelle determinate attraverso lo scenario “portata media annua antropizzata di magra”, a riprova del fatto che il potere diluente dei principali corpi idrici della Provincia di Sondrio viene inficiato notevolmente dalla pressione antropica esercitata sulla risorsa idrica.

La concentrazione di azoto ammoniacale rilevata da ARPA risulta essere in linea con le concentrazioni determinate nello scenario “portata media annua antropizzata”, mentre lo scenario “portata media annua antropizzata di magra” presenta concentrazioni decisamente più elevate. Il modello, non tenendo conto delle cinetiche di degradazione molto veloci dell’azoto ammoniacale, presenta nello scenario di magra le condizioni che si vengono a creare nei tratti immediatamente a valle degli scarichi e in quei periodi dell’anno in cui, a causa delle scarse portate, la capacità autodepurante dei corpi idrici risulta più compromessa. Per quanto riguarda il BOD5 e *E. coli*, invece, si osservano addirittura delle sottostime nel modello, anche in tempo di magra. Ciò può essere dovuto a vari fattori: per quanto riguarda la domanda biochimica di ossigeno, è possibile notare che i valori sono, in senso assoluto, estremamente bassi, risultando una classe LIM pari a 1 in tutte le sezioni per ciascuno dei rilevamenti e scenari. Ad una scala simile, praticamente al limite della rilevabilità strumentale, è difficile poter fare ulteriori considerazioni, se non che le concentrazioni alle diverse stazioni non mostrano scadimenti (come classi di qualità) nemmeno nello “scenario peggiore”, in linea con quanto rilevato da ARPA.

Per quanto riguarda l’indicatore dell’inquinamento microbiologico *E. coli*, invece, la disparità tra i valori forniti nelle diverse stazioni mediante gli scenari e i dati effettivamente osservati, può essere conseguenza diretta di una scarsa capacità di disinfezione da parte degli impianti. Il limite di legge utilizzato per la modellizzazione degli scenari, pari a 5000 UFC/100 ml, è peraltro un limite consigliato, ed è ottenibile solo con la presenza di una buona disinfezione nelle linee degli impianti, disinfezione che, specie nei depuratori più piccoli, è in realtà spesso addirittura assente.

L’unico parametro che risulta essere sovrastimato dal modello è il fosforo totale, in cui anche le concentrazioni rilevate nello scenario “portate medie annue antropizzate” sono leggermente superiori rispetto a quanto determinato da ARPA nell’anno 2006.

In conclusione, le conoscenze riguardanti la qualità delle acque superficiali della Provincia di Sondrio, ottenute attraverso la rete delle stazioni di monitoraggio ARPA, sono ad un livello più che accettabile per un inquadramento generale del territorio, che risulta essere caratterizzato da un livello di qualità chimico-fisica da buono ad ottimo.

7.3 INDICI RAPPRESENTATIVI DEL RISCHIO DI INQUINAMENTO LIM PER OGNI TRATTO DEL RETICOLO IDROGRAFICO

Se si estende la valutazione delle classi di qualità LIM (determinate escludendo *E. coli* che, come si è visto, è un parametro caratterizzato da una forte incertezza, e l’ossigeno disciolto per il quale non vi sono dati sufficienti ad una elaborazione) all’intero reticolo idrografico della Provincia di Sondrio, utilizzando lo strumento GIS, si ottengono gli indici I_{LIM} nei tre scenari precedentemente descritti.

Come precedentemente esposto, gli scenari riferiti alle portate medie annue antropizzate e alle portate medie annue antropizzate di magra, a differenza dello scenario riferito alle portate medie annue naturali, sono da considerare propriamente come *scenari di rischio di inquinamento LIM*. Infatti le portate sono state stimate, con i criteri esposti nel par. 5.3.3 e segg., come portate conseguenti ad un *rischio di derivazione*, ammettendo che le utilizzazioni idroelettriche derivino l’intera portata media annua disponibile nella sezione di derivazione a meno del DMV 10 %. Inoltre per il calcolo dei carichi rilasciati dai depuratori nei corsi d’acqua sono stati considerati gli abitanti equivalenti di progetto e non gli abitanti attuali.

Grazie a tale strumento si osserva come in presenza di portate medie annue (Figura 76 e Figura 77) la situazione non cambi e i livelli si mantengano generalmente tra il “buono” e

l'”ottimo”, con alcuni tratti fluviali in classe “sufficiente”. In presenza di “portate medie naturali” (Figura 76) la situazione non scende mai sotto il livello “buono”, se si esclude uno scadimento a “sufficiente” nel solo torrente Braulio. Nello scenario “portate medie antropizzate” (Figura 77), che simula una situazione più aderente alla realtà attuale, si osservano ulteriori scadimenti in classe “sufficiente” in alcuni tratti del fiume Adda (generalmente ubicati a valle dei principali impianti di depurazione) e nella parte bassa del torrente Rosso (bacino del Mera), mentre il torrente Valle di Aprica scende in classe 4 (“scadente”) per la mancata diluizione degli effluenti del locale depuratore.

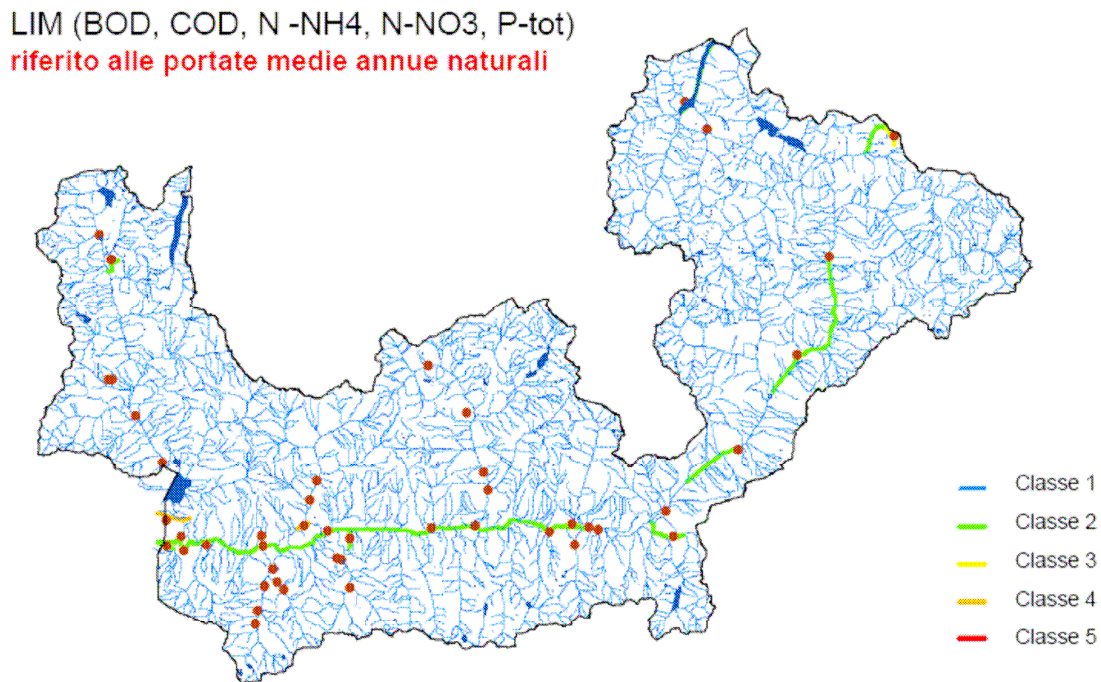


Figura 76. Carta dell'indice I_{LIM} rappresentativo per ogni tratto del reticolo idrografico del livello di qualità LIM nello scenario “portate medie annue naturali”.

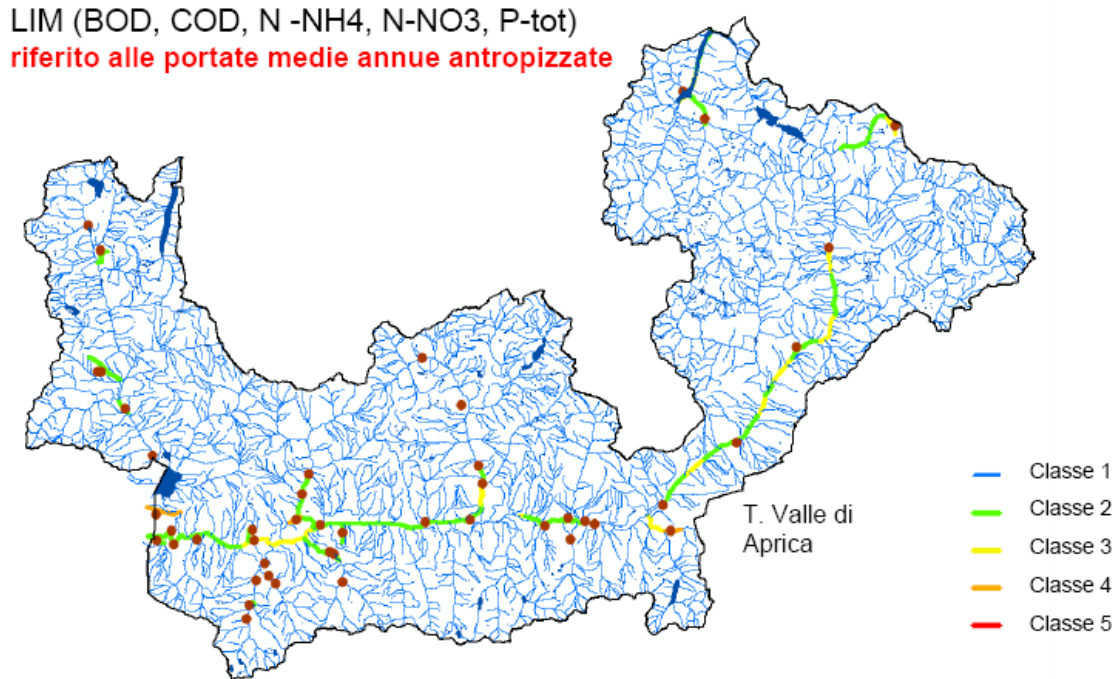


Figura 77. Carta dell'indice I_{LIM} rappresentativo, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio di inquinamento LIM nello scenario "portate medie annue antropizzate".

Tuttavia, la presenza di un massiccio sfruttamento della risorsa idrica, nell'ambito provinciale, comporta il fatto che si possano determinare contesti (dati dal periodo dell'anno e dalle caratteristiche dei tratti fluviali considerati) in cui le portate risultino insufficienti al fine di garantire la necessaria diluizione dei carichi inquinanti. Al fine di individuare tale possibile rischio di criticità, è stata realizzata la cartografia dello scenario "portata media annua antropizzata di magra" (Figura 78). Ciò ha permesso di valutare l'effettiva classe di qualità dei diversi corsi d'acqua nello scenario peggiore possibile, ossia in presenza dello stress idraulico più grave. Sono stati considerati critici i corsi d'acqua in cui si siano evidenziate classi di qualità LIM da "sufficiente" a "pessimo", in linea con quanto specificato dalla normativa nazionale ed europea che prevede il passaggio ad una qualità "buona" per tutti i corsi d'acqua nei prossimi anni.

LIM (BOD, COD, N -NH₄, N-NO₃, P-tot)
 riferito alle portate di magra antropizzate

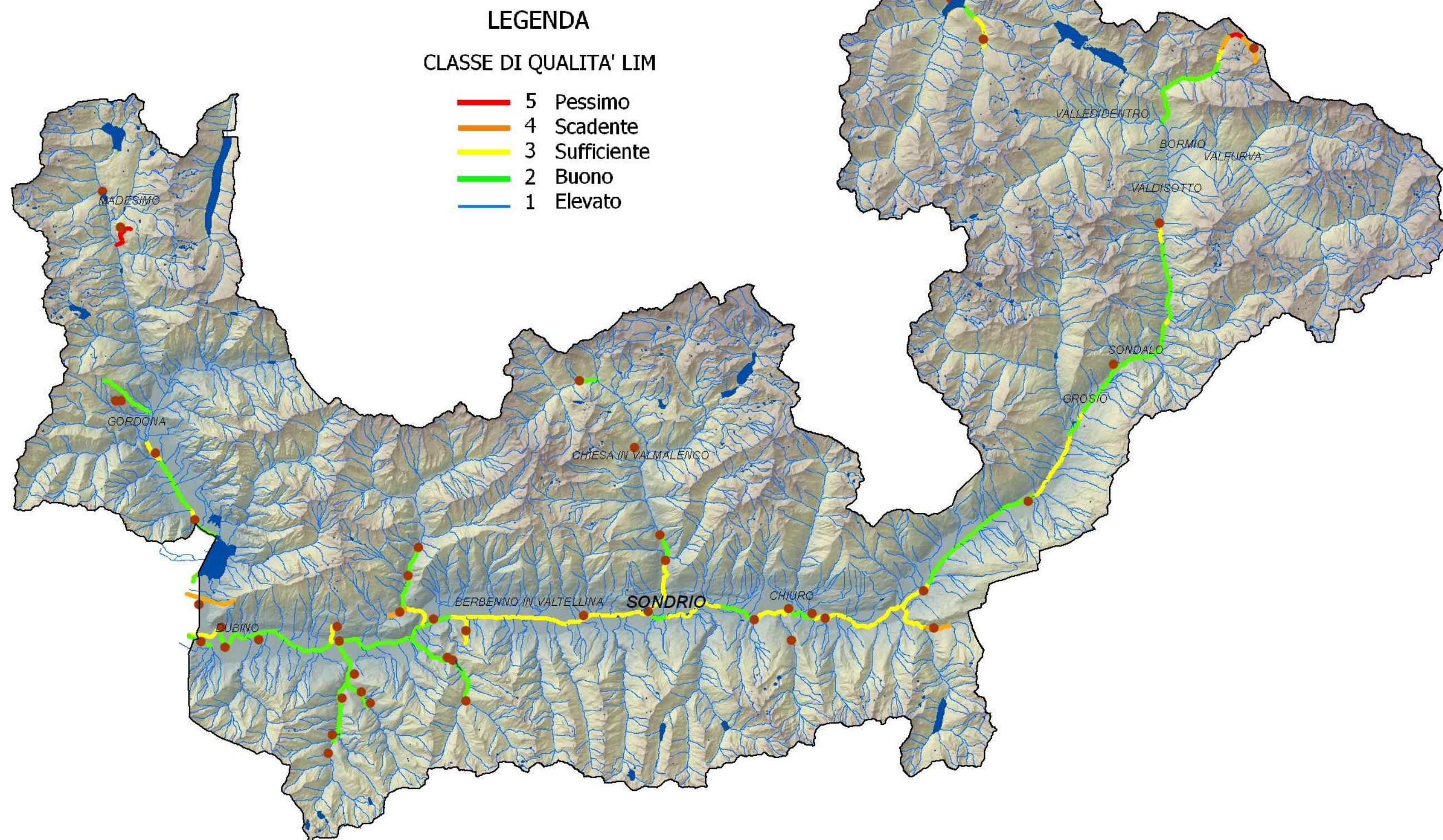


Figura 78. Carta dell'indice I_{LIM} rappresentativo, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio di inquinamento LIM nello scenario "portate medie annue antropizzate di magra". Questa figura è riprodotta anche nella Tav. 4 del Piano di Bilancio Idrico della Provincia di Sondrio.

Nella cartografia prodotta sono osservabili come critiche, principalmente, due tipologie di tratti fluviali:

- Tratti fluviali caratterizzati da portate molto scarse, in cui carichi inquinanti anche piccoli non riescono a ricevere la necessaria diluizione (torrente Braulio, che risulta essere costituito unicamente da effluenti; torrente Valle di Aprica; altre situazioni localizzate);
- Tratti fluviali caratterizzati da portate elevate, ma il cui potere diluente nei confronti di carichi inquinanti spesso ragguardevoli è inficiato da un massiccio sfruttamento della risorsa idrica (principalmente lunghi tratti del fiume Adda).

La molteplicità delle fonti di impatto, anche solo considerando gli impianti di depurazione, e il valore decisamente più basso relativamente alla qualità delle comunità biologiche (associato, tra l'altro, a indicatori quali l'azoto ammoniacale e *E. coli*, indici di trattamenti di reflui assenti o non ottimali) suggeriscono ad ogni modo la necessità di studi mirati, in termini di carichi inquinanti gravanti sul sottobacino e di ricettività degli stessi, per i tratti fluviali sottoposti a richiesta di concessione di derivazione. Ciò si rende necessario al fine di quantificare con esattezza gli impatti sulla componente ecosistemica, componente che è predisposta a subire gli effetti di differenti tipologie di alterazione aventi incidenza critica ed effetti sinergici. Tali sinergie possono, da un lato, comportare effetti distruttivi amplificati e, dall'altro, far sì che gli agenti alteranti si mascherino vicendevolmente, rendendo difficile valutare quali siano le sorgenti di impatto effettivamente dequalificanti.

7.4 ASPETTI ECOSISTEMICI E DI FUNZIONALITÀ FLUVIALE

7.4.1 Aspetti ecosistemici

La tutela degli ecosistemi fluviali non può passare, ovviamente, unicamente attraverso la definizione ed il mantenimento delle capacità diluenti dei corpi idrici presi in esame nei confronti dei carichi inquinanti immessi. Se da un lato è importante, infatti, sia a livello ecosistemico che igienico-sanitario, impedire un incremento delle concentrazioni di inquinanti tale da poter causare scadimenti nella classe di qualità del recettore, dall'altro tale misura non è assolutamente sufficiente al fine di raggiungere obiettivi di tutela integrata dell'*ambiente fluviale* nel senso più ampio del termine, laddove il corso d'acqua non sia più considerato unicamente come il vettore di un fluido di qualità più o meno buona, ma come un ecosistema complesso in cui le componenti biotiche, abiotiche e le loro relazioni funzionali vanno salvaguardate come un bene di per sé.

Il PTCP della Provincia di Sondrio si è posto, fin da subito, come obiettivo di “garantire una compatibilità [tra l'utilizzo dei corpi idrici per la produzione di energia elettrica] con la conservazione dell'ambiente naturale montano locale e con le necessarie garanzie igienico-sanitarie”. Ciò presuppone una serie di azioni volte alla tutela degli ecosistemi e degli ecotoni fluviali, con particolare riferimento a quelle componenti critiche per:

- il loro valore naturalistico (presenza di endemismi; di specie animali e/o vegetali rare; di elevata biodiversità; di particolarità ambientali o paesaggistiche);
- la loro fragilità (presenza di ambienti dotati di scarsa resistenza e/o resilienza alle alterazioni di origine antropica; di dinamiche ecosistemiche basate su cicli perturbativi naturali molto intensi);
- la loro capacità connettiva (in funzione del valore degli ambienti limitrofi collegati e della loro valenza come corridoi ecologici).

7.4.2 Tutela degli ecosistemi ad alto valore naturalistico

Il PTCP ha vietato, sin dall'approvazione delle sue linee guida generali, nuovi prelievi idroelettrici e l'incremento di quelli in atto sui corsi d'acqua che interessano le aree di particolare interesse naturalistico e paesistico.

Tali aree sono:

Il Parco Nazionale dello Stelvio

Il Parco Regionale delle Orobie Valtellinesi

Le riserve naturali

E, in ogni caso:

I Siti di Interesse Comunitario (SIC)

Le Zone a Protezione Speciale (ZPS)

In aggiunta alle precedenti, il PTCP considera aree di particolare interesse naturalistico anche le seguenti:

- Isola Glaciale Marinelli
- Campagneda, Prabello, Acquanegra
- Lago d'Entova
- Alpe Fora
- Monte Arcoglio, Sasso Bianco, Lago di Arcoglio
- Lago di Chiesa
- Cembreta di Valle Airale
- Val Sissone
- Bagni del Masino
- Piani di Predarossa
- Val di Mello fondovalle
- Val di Togno media
- Valle di Sasso Bisolo
- Ingresso della Val Codera
- Valle della Forcola di Livigno
- Motto di Livigno, Val Saliente
- Val Federia, Corna dei Gessi
- Passo di Cassana
- Val di Campo, Val Nera, Valle del Vago
- Cima Piazzì
- Val Viola Bormina
- Monte Foscagno e Passo del Foscagno
- Torbiera dell'Alpe Gradesc
- Acrocorno Cima Verde, Cima Cadì, Costa Bella
- Val Grosina e Val Vervia
- Piano dei Cavalli – Valle San Giacomo

7.4.3 Tutela degli ecosistemi fragili

7.4.3.1 Ecosistemi fragili in ambito montano

In ambiente fluviale è possibile osservare una successione di ecosistemi lungo la direzione della corrente, popolati da comunità di organismi vegetali e animali che presentano strutture

variabili da monte a valle lungo il corso d'acqua e che instaurano strette relazioni fra loro e con i fattori idrogeologici, chimici e fisici.

La tutela dell'integrità ecosistemica di un corso d'acqua, dunque, non può essere affidata unicamente alla protezione delle dinamiche idrauliche o, come visto precedentemente, della qualità dell'acqua. Ogni decisione pianificatoria e gestionale riguardante un fiume od un torrente deve passare necessariamente anche attraverso la valutazione della qualità (presente e futura) dell'ecosistema nel suo complesso, ivi considerandone, tra l'altro, le caratteristiche morfologiche dell'alveo e delle rive, l'ecotono circostante e la componente biologica. In altre parole, occorre considerare la *funzionalità* degli ecosistemi fluviali.

Nell'ambiente naturale montano, vengono individuati alcuni elementi di fragilità caratteristici degli ecosistemi dei corsi d'acqua. In particolare, a parità di portata captata, l'effetto della derivazione d'acqua sugli ecosistemi fluviali è funzione principalmente di due elementi: la *tipologia* del corpo idrico (Tabella 34) e le sue *dimensioni*.

Nelle aree montuose, le tipologie di corso d'acqua distinguibili sono fondamentalmente tre (Maiolini, 2006):

Il *kryal*, che trae origine unicamente dalle acque di fusione glaciale e in cui si rinvengono condizioni ambientali estreme (temperature prossime a 0°C, elevata instabilità dell'alveo, notevoli fluttuazioni di portata e di trasporto solido sia stagionali che giornaliere), che hanno portato alla formazione di comunità biologiche costituite da poche specie altamente specializzate, con una nicchia ecologica particolarmente ristretta.

Il *krenal*, che trae origine da acque sorgive ed è caratterizzato da condizioni ambientali (in particolare per ciò che riguarda la portata e la temperatura) piuttosto stabili, con comunità biologiche a loro volta stabili.

Il *rhithral*, che trae origine dallo scioglimento nivale e dagli apporti meteorici, con condizioni di stabilità intermedie e comunità biotiche ricche.

| | <i>Kryal</i> | <i>Krenal</i> | <i>Rhithron</i> |
|-------------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Origine | Glaciale | Sorgiva | Mista (nevai, piogge) |
| Portata | Ampie fluttuazioni | Costante | Fluttuazioni limitate |
| Temperature | Vicina a 0°C | Costante | Con variazioni su base annuale |
| Trasporto solido | Elevato/variabile | Basso/costante | Basso/variazioni limitate |
| Stabilità del substrato | Bassa | Alta | Buona |
| Comunità | Poche specie molto specializzate | Tipiche comunità stabili | Complessa |

Tabella 34. Caratteristiche delle tre principali tipologie fluviali presenti nell'ambiente montano (da Maiolini, 2006).

Negli ambienti *kryal*, l'inserimento di opere destinate alla derivazione idroelettrica e la sottrazione d'acqua comportano generalmente una mitigazione delle fluttuazioni di portata ed un aumento della stabilità dell'alveo. La minor quantità d'acqua ed il conseguente rallentamento della velocità comportano una diversa redistribuzione delle temperature, che tendono ad essere più elevate di giorno e più basse di notte, aumentando l'escursione termica. Di fatto, le condizioni che avevano determinato l'alta specializzazione delle comunità biologiche presenti negli ambienti *kryal* tendono a modificarsi profondamente, con il risultato che le comunità stesse spariscono in favore di comunità più ubiquitarie, provenienti da ambienti *rhithral*. Occorre, inoltre, considerare che gli ambienti fluviali di origine glaciale mostrano già segnali di sofferenza e di forte contrazione dovuti all'andamento climatico degli ultimi decenni, che ha visto la forte regressione di tutti i ghiacciai alpini. Tali considerazioni portano alla necessità di tutelare i corsi d'acqua alimentati dalla fusione glaciale, almeno per quei tratti posti direttamente a valle dei ghiacciai e delle vedrette alimentatrici in cui sia

riconoscibile una comunità biologica, con particolare riferimento ai macroinvertebrati, riconducibile alla tipologia fluviale *kryal* (Figura 79).

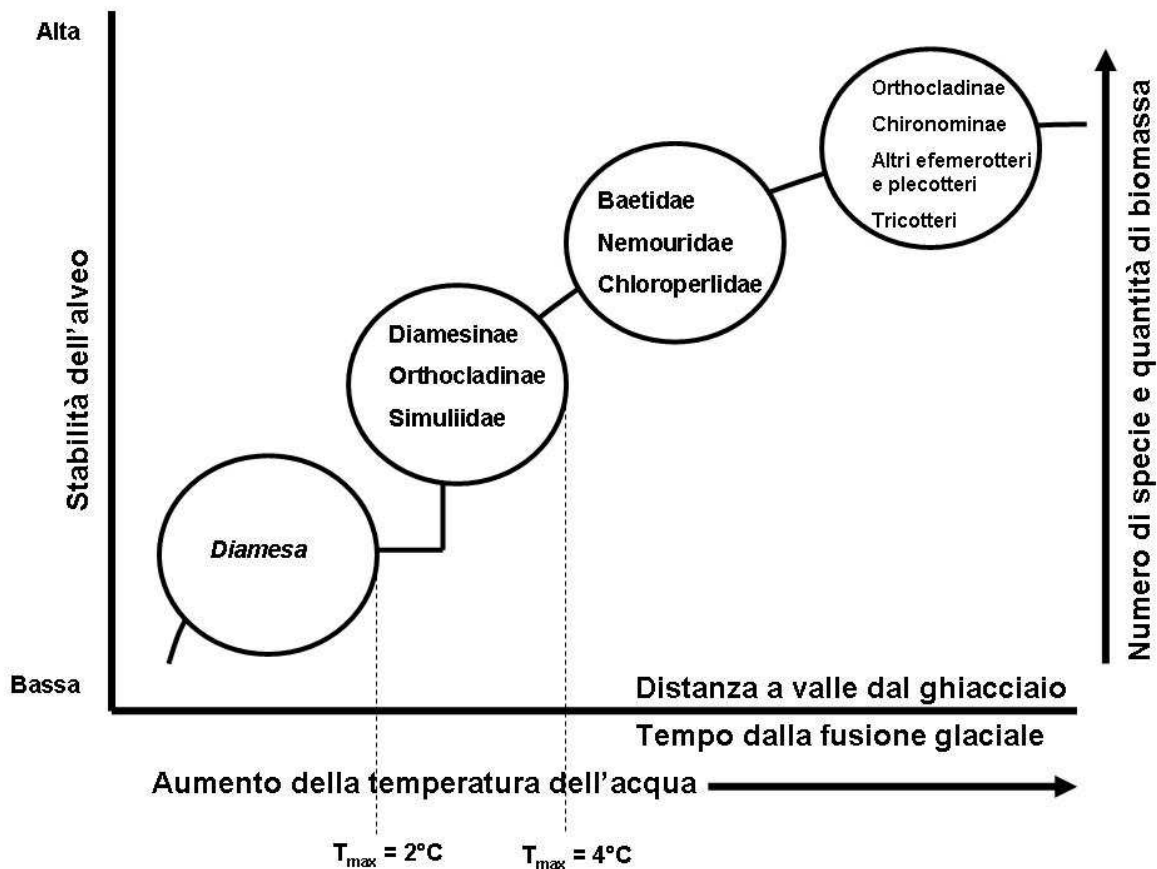


Figura 79. Le comunità di macroinvertebrati, stenoterme fredde, più propriamente caratteristiche degli ambienti *kryal* (a sinistra), sono costituite da Ditteri Chironomidi delle sottofamiglie Diamesinae e Orthocladinae, e da Ditteri Simulidi (modificato da Brittain & Milner, 2006).

Per ciò che riguarda le dimensioni dei corsi d'acqua, è stata fissata una soglia minima di 5 km² per i bacini interessati da derivazione. Tale soglia deriva dalla necessità di tutelare i bacini di minori dimensioni, particolarmente soggetti a perturbazioni e ad instabilità, nonché da considerazioni operative.

I corpi idrici inseriti in bacini di piccole dimensioni sono caratterizzati da basse portate e sono pertanto soggetti ad impatti quantitativi molto marcati anche per derivazioni di modesta entità, con effetti negativi sulla componente idromorfologica e biologica dell'ambiente fluviale, anche ove la qualità dell'acqua sia buona.

La captazione d'acqua, in una situazione di questo tipo, può condurre facilmente ad una riduzione degli habitat disponibili per le comunità biologiche (in particolare per ciò che riguarda l'ittiofauna e gli invertebrati), a causa della diminuzione della velocità di corrente, dell'altezza della colonna d'acqua ed alla modificazione della granulometria dei substrati.

Nei casi in cui nel corpo idrico siano immessi carichi inquinanti anche modesti (aree rurali non coltivate, scarichi occasionali), poi, la diminuzione della portata, nel tratto tra presa e restituzione, va a diminuirne il potenziale di diluizione e a creare quindi anche impatti qualitativi.

7.4.3.2 Criticità indotte dai periodi di magra

La definizione di classi di criticità per i corsi d'acqua della Provincia di Sondrio in base alla disponibilità di portate naturali in tempo di magra è strettamente correlata alla capacità che gli ecosistemi di tali corsi d'acqua hanno di reagire a condizioni di stress, indotte dall'assommarsi di diverse cause (sia naturali che di origine antropica). Da tempo è entrato nel linguaggio corrente della pianificazione il termine *ricettività ambientale*, legato alla capacità degli ecosistemi analizzati di opporre un diverso grado di resistenza a vari fenomeni perturbativi ed al loro assommarsi.

Le conoscenze attuali a livello di funzionalità degli ecosistemi stanno consentendo un diverso approccio generale alla materia, non più basato sulla misurazione della qualità di un ambiente rispetto ad una scala di qualità generale, ma sulla difformità dello stato indotto da una o più alterazioni nei confronti dello stato iniziale di riferimento.

Ad esempio, la consapevolezza delle differenze tra un ambiente e l'altro e, quindi, delle loro diverse condizioni naturali, ha portato a modificare sostanzialmente l'approccio alla questione dell'eutrofizzazione. Mentre la strategia normalmente accettata negli anni '80 consisteva nel mirare a (ri)portare tutti i laghi alla condizione di oligotrofia, ritenuta tipica di laghi non alterati dalla presenza e dall'attività antropica, dagli anni '90 la pianificazione ha iniziato a considerare gli Indici Morfo-Edafici per stimare il livello trofico naturale dei corpi idrici e quantificare di conseguenza l'entità dei carichi di fosforo accettabili caso per caso.

La stessa direttiva quadro sulle acque 2000/60 dell'Unione Europea si basa sulla valutazione delle condizioni "naturali" dei corpi idrici e stabilisce che le strategie di tutela e risanamento debbano mirare a ripristinarle.

In tal senso, l'approccio scelto per la pianificazione delle risorse idriche della provincia di Sondrio è stato quello di valutare, per ogni ecosistema interessato dall'analisi, la capacità di assorbire alterazioni di origine antropica di vario tipo rispetto ad una condizione originaria in cui fossero presenti unicamente le perturbazioni indotte dai cicli naturali e dalle particolarità proprie di ogni ambiente considerato nella sua integrità.

I corsi d'acqua soggetti naturalmente a episodi di magra particolarmente spinta (inferiore al 10% o anche al 5% della portata media annua), in particolare, risultano particolarmente fragili in partenza proprio per la loro scarsa stabilità. In tali situazioni, infatti, variazioni idrologiche e perturbazioni anche di modesta entità appaiono significative, ancorché limitate nel tempo. Tali perturbazioni sono definibili come *pulse* (Bender *et al.*, 1984), ossia alterazioni ricorrenti ma istantanee ed estemporanee. Tale tipo di fenomeni ha costretto le comunità biologiche interessate ad adottare comportamenti estremamente specializzati per farvi fronte. Le dinamiche ecosistemiche sviluppate su queste basi poggiano su un precario equilibrio e possono avere luogo solo se la disponibilità dei diversi habitat tipici dell'ambiente fluviale considerato è elevata, aumentando la possibilità di sopravvivenza delle popolazioni nei confronti del fenomeno perturbativo (resistenza dell'ecosistema) e la capacità di recupero una volta che il fenomeno sia passato (resilienza dell'ecosistema). Derivazioni che riducano ulteriormente la portata in corsi d'acqua naturalmente soggetti a magre spinte, anche a fronte del mantenimento di un minimo deflusso vitale, comporterebbero la sparizione di diversi habitat (Dewson *et al.*, 2007) e, quindi, un peggioramento significativo delle condizioni ambientali, aggiungendo alle pressioni di tipo *pulse* sopra descritte alterazioni di tipo *press* (costanti nel tempo e tali da favorire le specie più idonee alle sopravvenute modifiche delle condizioni generali).

In presenza di un deflusso costante e stabilito artificialmente, le comunità biologiche tendono a stabilizzarsi al nuovo punto di equilibrio, il quale si fonda su un ridotto numero di habitat fisici e tende a privilegiare, come già detto, solo alcune specie più idonee alle sopraggiunte

condizioni. Tali specie, generalmente, non sono, però, le più idonee ad affrontare le successive perturbazioni di tipo *pulse* legate ai periodi di magra presenti anche in condizioni naturali (McKay & King, 2006), e la scarsità di habitat disponibili, anche come rifugio (Lake, 2003), può comportare l'eradicazione delle comunità biologiche fluviali ed un più lungo e complesso (quando non impossibile) ripristino delle condizioni di partenza, anche a causa di possibili interruzioni della continuità longitudinale.

7.4.4 Funzionalità fluviale

7.4.4.1 Metodologia

Al fine di tutelare la connettività tra i diversi ecosistemi presenti nel reticolo idrografico superficiale della Provincia di Sondrio, occorre definire il grado di funzionalità esercitato dai diversi ambienti fluviali

La metodologia utilizzata per una prima valutazione della funzionalità dei corsi d'acqua in Provincia di Sondrio è stata l'RCE-2 (*Riparian Channel Environmental Inventory*), ideata da Petersen (1992) e successivamente approdata in Italia, dove è stata applicata per la prima volta in Trentino (Siligardi e Maiolini, 1993), modificata per adattarsi alle caratteristiche morfologiche ed ecologiche dei corsi d'acqua italiani, in particolare alpini e prealpini. Le modifiche hanno portato alla ridenominazione come *Indice di Funzionalità Fluviale* (IFF) dopo che un gruppo di lavoro riunito dall'ANPA lo ha ulteriormente trasformato nel 2000 e poi nel 2007.

L'obiettivo principale dell'indice consiste nella valutazione dello stato complessivo dell'ambiente fluviale e della sua funzionalità, intesa come risultato della sinergia e dell'integrazione dei fattori biotici e abiotici presenti nell'ecosistema acquatico e in quello terrestre ad esso collegato. La descrizione di parametri morfologici, strutturali e biotici dell'ecosistema, interpretati alla luce dei principi dell'ecologia fluviale, porta quindi al rilevamento della funzione ad essi associata, nonché dell'eventuale grado di allontanamento dalla condizione di massima funzionalità.

L'indice RCE-2/IFF analizza ciascuna delle componenti funzionali, onde fornire un quadro sintetico della situazione in cui si trova il corso d'acqua. La scheda di indagine si compone di 14 domande che riguardano le principali caratteristiche ecologiche: per ogni domanda è possibile esprimere una sola delle 4 risposte predefinite. La struttura della scheda consente di esplorare i diversi comparti ambientali, e le domande possono essere raggruppate in gruppi funzionali:

- Le domande 1 – 4 riguardano le condizioni vegetazionali delle rive e del territorio circostante al corso d'acqua ed analizzano le diverse tipologie strutturali che influenzano l'ambiente fluviale, come ad esempio l'uso del territorio o l'ampiezza della zona riparia naturale.
- Le domande 5 – 6 si riferiscono all'ampiezza relativa dell'alveo bagnato e alla struttura fisica e morfologica delle rive, per le informazioni che esse forniscono sulle caratteristiche idrauliche.
- Le domande 7 – 11 considerano la struttura dell'alveo, con l'individuazione delle tipologie che favoriscono la diversità ambientale e la capacità di autodepurazione di un corso d'acqua.
- Le domande 12 – 14 rilevano le caratteristiche biologiche, attraverso l'analisi strutturale delle comunità macrobentonica e macrofita e della conformazione del detrito.

Alle risposte sono assegnati pesi numerici raggruppati in 4 classi (con peso minimo 1 e massimo 30) che esprimono le differenze funzionali tra le singole risposte. L'attribuzione degli specifici pesi numerici alle singole risposte non ha giustificazioni matematiche, ma deriva da valutazioni sull'insieme dei processi funzionali influenzati dalle caratteristiche oggetto di ciascuna risposta; ciò rende il metodo sostanzialmente più stocastico e meno deterministico. Il punteggio IFF, ottenuto sommando i punteggi parziali relativi ad ogni domanda, può assumere un valore minimo di 14 e un massimo di 300, con relativi giudizi di funzionalità associati (Tabella 35).


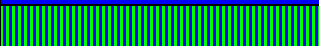






| VALORE DI IFF | LIVELLO DI FUNZIONALITA' | GIUDIZIO DI FUNZIONALITA' | COLORE ASSOCIATO |
|---------------|--------------------------|---------------------------|---|
| 261-300 | I | Ottimo |  |
| 251-260 | I-II | Ottimo-buono |  |
| 201-250 | II | Buono |  |
| 181-200 | II-III | Buono-mediocre |  |
| 121-180 | III | Mediocre |  |
| 101-120 | III-IV | Mediocre-scadente |  |
| 61-100 | IV | Scadente |  |
| 51-60 | IV-V | Scadente-pessimo |  |
| 14-50 | V | Pessimo |  |

Tabella 35. Tabella di conversione dei valori di IFF in livelli di funzionalità.

L'indice RCE-2 è stato applicato sui principali corsi d'acqua provinciali e su alcuni dei torrenti tributari minori per conto del Settore Ambiente e Sviluppo Economico della Provincia di Sondrio, che ha pubblicato i risultati. Di seguito sono riportati i tratti caratterizzanti dei principali corpi idrici indagati, definiti attraverso il lavoro di rilevamento sul campo e di elaborazione eseguito dal gruppo di studio che ha redatto l'indice per la Provincia (*Un viaggio lungo i corsi d'acqua della Provincia di Sondrio*, 2001).

7.5 INDICE RAPPRESENTATIVO DELLA CONNETTIVITÀ E DELLA FUNZIONALITÀ ECOLOGICA

Le situazioni presenti sul territorio e definite dall'indice RCE-2/IFF possono essere inquadrare in tipologie (cfr. PGUAP Provincia Autonoma di Trento, 2006), che sono state suddivise in una classificazione basata su 4 livelli:

1. “ambito fluviale ecologico con valenza elevata”: costituito da un alveo naturale, con un'ampia diversificazione degli habitat disponibili, e contornato da formazioni arboree ed arbustive riparie ben consolidate, che deve essere protetto e correttamente gestito. Questa zona, interposta tra il sistema fluviale e il territorio circostante, svolge la funzione ecotampone. E', inoltre, garantita la presenza di un corridoio fluviale per il mantenimento dei flussi biologici da monte a valle e viceversa. A questo ambito sono assimilate le Classi di Qualità I e I/II.

2. “ambito fluviale ecologico con valenza buona”: sono presenti elementi di pregio che convivono con interventi artificiali o, comunque, con caratteristiche specifiche che possono risultare non ottimali per il mantenimento di una piena funzionalità fluviale. Generalmente le rive, inserite in un contesto rurale o boschivo, sono vegetate e il corso d’acqua dispone sia di una minima zona di pertinenza fluviale che di strutture in alveo in grado di fungere da habitat ben diversificati. Sono ambiti che dovrebbero essere considerati prioritari per interventi di riqualificazione, in quanto possono facilmente essere ricondotti ad una “valenza elevata”. A questo ambito sono assimilate le Classi di Qualità II e II/III.

3. “ambito fluviale ecologico con valenza mediocre”: situato in zone più o meno scarsamente urbanizzate, agricole, pascolive o incolti. Sono aree che svolgono una funzione ecotampone e di corridoio fluviale limitata dalla presenza umana, che però non appare così invasiva da comprometterne del tutto la valenza. Sono aree che possono essere verosimilmente recuperate verso la “valenza buona” rinaturalizzando una zona adiacente al fiume di alcune decine di metri, con interventi volti alla diversificazione degli habitat ed al recupero della flora arborea e arbustiva riparia, mediante studi caso-specifici volti alla definizione delle criticità principali. A questo ambito è assimilata la Classe di Qualità III.

4. “ambito fluviale ecologico con valenza bassa”: tipico di zone ad urbanizzazione matura, dove gli interventi di rinaturazione per il miglioramento della connettività, non potendo riguardare l’esterno dell’alveo, possono comunque interessare gli argini e l’alveo stesso, mediante progetti di riqualificazione del letto fluviale atti ad aumentare la disponibilità di habitat e, soprattutto, a garantire la connettività longitudinale. A questo ambito sono assimilate le Classi di Qualità III/IV, IV, IV/V e V.

La determinazione della qualità degli ambiti fluviali, ottenibile secondo le procedure standardizzate del protocollo RCE-2/IFF, è possibile per i corsi d’acqua la cui descrizione viene di seguito presentata (Adda, Mera, Mallero) e per gli altri corpi idrici per i quali sono già disponibili i dati del lavoro di classificazione effettuato dalla Provincia di Sondrio (Cervio, Liro, Livrio, Madrasco, Poschiavino e Spoel). Per tali corsi d’acqua è stato possibile elaborare una cartografia di sintesi della funzionalità fluviale (Figura 80), a cui sono state associate delle classi di criticità determinate sulla base della qualità degli ambiti fluviali, utilizzando come riferimento cautelativo la sponda presentante il punteggio più elevato. Sono state considerate critiche, e dunque bisognose di una maggior tutela, tutte le aree il cui ambito fluviale ecologico presentasse una valenza “elevata” o “buona”.

- classi IFF: I – I/II (valenza elevata)
- classi IFF: II – II/III (valenza buona)
- classi IFF: III (valenza mediocre)
- classi IFF: III/IV, IV, IV/V, V (valenza bassa)
- Tratti in cui non è stato definito l'indice IFF

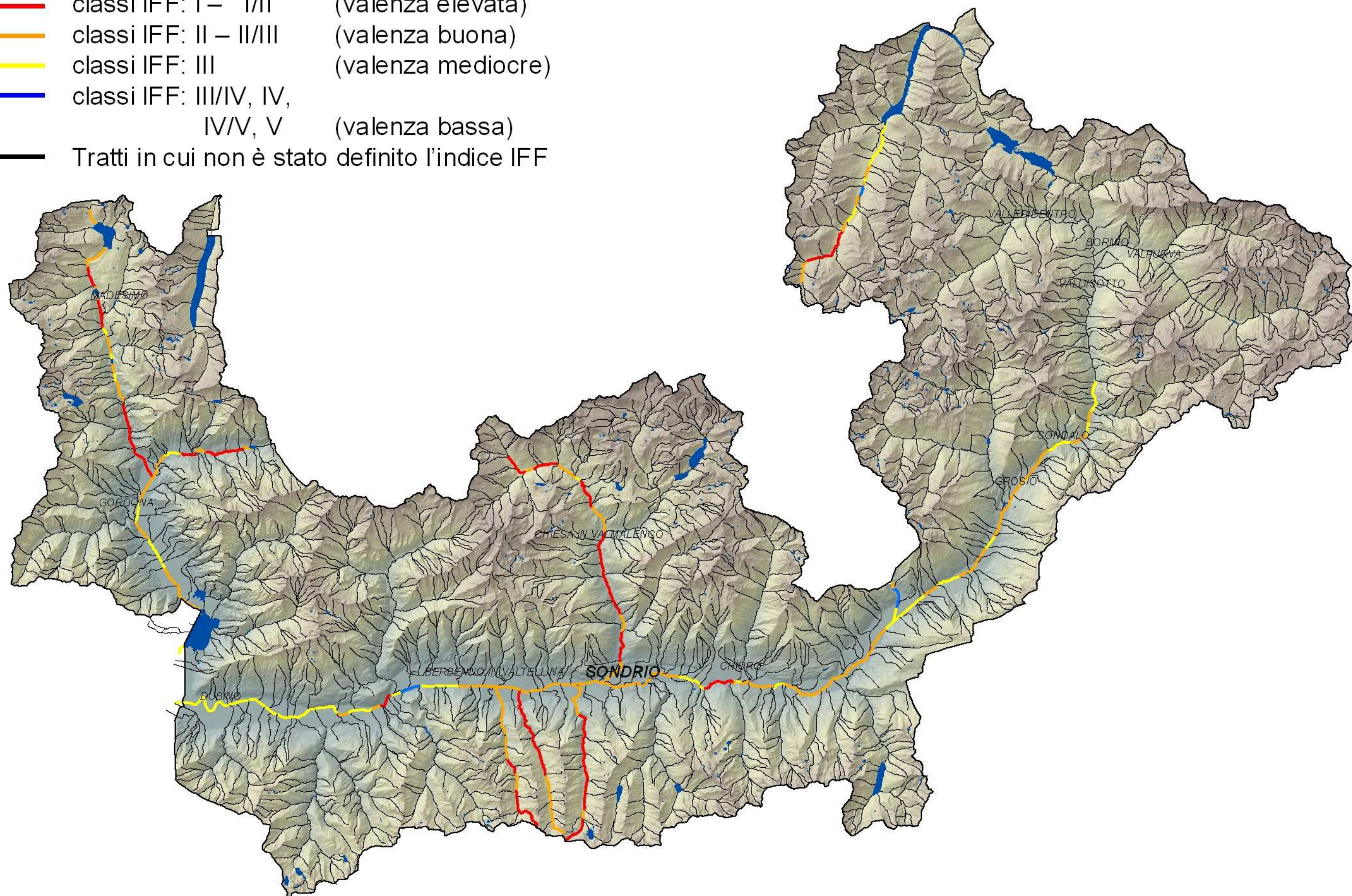


Figura 80. Carta dell'indice rappresentativo della connettività e della funzionalità ecologica degli ambienti fluviali. Questa figura è riprodotta anche nella Tav. 5 del Piano di Bilancio Idrico della Provincia di Sondrio.

E' d'altro canto evidente come la classificazione sulla base della funzionalità ecologica necessiti di ulteriori sviluppi, che possono essere brevemente schematizzati in due punti fondamentali:

- la definizione dei valori dell'indice per quei corsi d'acqua che non sono stati inseriti nella classificazione precedente;
- l'aggiornamento dello status dei corsi d'acqua già classificati, alla luce delle modifiche territoriali occorse negli ultimi dieci anni.

A tale proposito, si suggerisce l'applicazione del nuovo protocollo di rilevamento IFF 2007 (APAT, 2007) all'intero reticolo idrografico principale della Provincia di Sondrio, ivi compresi tutti i corsi d'acqua interessati da derivazioni o da richieste di concessione di derivazione, al fine di ottenere una cartografia d'ambito completa e aggiornata.

7.5.1.1 Descrizione della funzionalità fluviale dei principali corsi d'acqua in Provincia di Sondrio

Fiume Adda

L'analisi della funzionalità fluviale dell'Adda ha evidenziato ambienti con forti contrasti (che hanno basi storiche) tra la valenza paesaggistica e turistica di questa valle e gli interventi antropici che ne hanno in parte modificato le caratteristiche strutturali e naturali.

Lo studio delle caratteristiche morfo-funzionali del fiume Adda comincia poco a monte di Verzedo, laddove il fiume esce dalla galleria che era stata realizzata dopo i tragici avvenimenti del 1987 (la frana del monte Coppetto che ha distrutto l'abitato di S. Antonio Marignone provocando la formazione di un lago) allo scopo di impedire l'accumularsi di masse idriche potenzialmente pericolose.

Nel tratto che giunge fino all'abitato di Grosio il corso d'acqua ha un carattere prevalentemente torrentizio. In questo percorso il fiume si colloca le Classi di Qualità RCE-2 II e III. La sponda sinistra è apparsa la più compromessa, soprattutto a causa dell'ampiezza della zona riparia, spesso ridotta al di sotto dei 5 metri o addirittura assente; inoltre, la fascia di vegetazione perifluviale è frequentemente interrotta da interventi artificiali. La vegetazione presente è caratterizzata per lo più da pochi arbusti ed erbe che hanno un basso potere di rimozione dei nutrienti e una ridotta funzionalità in termini di corridoio fluviale.

Anche le osservazioni effettuate in merito alle caratteristiche idrauliche hanno rilevato una situazione compromessa: infatti, la notevole differenza spesso osservata tra alveo di morbida ed alveo bagnato segnala un regime idraulico sottoposto a notevoli sbalzi di portata; questo fatto si ripercuote anche sulla stabilità delle rive che, dove non sono presenti interventi artificiali di contenimento, presentano lunghi tratti in erosione.

Questo fenomeno è dovuto principalmente alla presenza di interventi artificiali che raddrizzano il percorso e che indirizzano la corrente violentemente sulla riva opposta causando forti processi erosivi al piede della sponda che possono produrre anche ingenti smottamenti di terreno. Inoltre, la canalizzazione del fiume rende brusco il passaggio dall'ambiente acquatico a quello terrestre, eliminando i microambienti di transizione e gli organismi da essi ospitati. Queste alterazioni sono evidenziate soprattutto in alcune sezioni in corrispondenza e a valle di Sondalo, dove ai tratti con difese spondali seguono tratti con sponde erose.

La presenza della superstrada, che scorre in alveo per lunghi tratti e che sembra progettata con il solo criterio geometrico, offre un esempio di gestione del territorio particolarmente negativa. Un aspetto positivo del tratto di corso d'acqua in esame è rappresentato dalle caratteristiche strutturali dell'alveo: il substrato del fiume nel tratto in considerazione è per lo più rappresentato da massi e ciottoli che conferiscono una scabrosità al fondo che favorisce il

rimescolamento delle acque, e quindi la riossigenazione e la ritenzione dei nutrienti, agevolando il processo di autodepurazione.

Scendendo fino a Grosotto si incontra l'impianto dell'AEM che altera profondamente le caratteristiche strutturali del fiume per un tratto di circa 200 m. La presenza di questo impianto si ripercuote anche sulle caratteristiche funzionali della successiva sezione, che presenta un'esigua portata, la completa artificializzazione delle sponde ed una scarsa presenza di vegetazione di greto all'interno delle sponde artificiali.

Il tratto successivo di fiume, fino all'altezza dell'abitato di S. Giacomo, si presenta prevalentemente in III Classe di Qualità RCE-2: le difese spondali si alternano a interventi di sbarramento e di rettificazione degli alvei limitando la varietà di microabitat che ospitano piante ed animali. Inoltre, sono stati osservati diversi impianti di escavazione degli inerti e non bisogna dimenticare che le escavazioni, abbassando il letto dei fiumi e mutando pendenze ed andamenti delle aste fluviali, rendono le sponde più soggette a riassetamenti e modificano velocità e battute delle correnti "generando" successivamente la necessità di effettuare opere artificiali di contenimento delle sponde. Alcuni tratti con maggior funzionalità possono essere osservati tra Vervio e Lovero e su alcune sezioni della sponda sinistra qui si possono apprezzare le sezioni più funzionali di tutto il corso d'acqua grazie alla presenza di un alveo ampio e naturale protetto da una discreta fascia di vegetazione riparia a carattere arbustivo-arboreo.

E' interessante notare che nella sezione che si estende da Stazzona a Trasenda, si susseguono diversi isolotti fluviali caratterizzati da una vegetazione riparia di tipo arboreo e arbustivo: la presenza delle isole fluviali è un fattore decisamente positivo nell'aumentare la biodiversità di questi ecosistemi. Esse, infatti, non vengono per nulla disturbate dal continuo fluire delle acque proprio grazie all'azione di consolidamento esercitata dalla vegetazione stessa e potrebbero quindi essere assunte a modello di consolidamento "naturale" nei casi in cui ve ne sia la necessità. Questo aspetto è riscontrabile a monte di Crotti, dove il corso d'acqua erode in sponda destra, nella quale sono stati realizzati interventi artificiali di contenimento (III Classe di Qualità RCE-2).

Proseguendo fino all'altezza di Carolo, il fiume acquista una migliore funzionalità in entrambe le sponde (II Classe di Qualità RCE-2). In particolare, a ridosso dell'abitato di Chiuro la sponda sinistra si presenta in I Classe di Qualità grazie ad una fascia perifluviale ampia, caratterizzata da bosco maturo che esercita una efficace azione di consolidamento delle rive. Nel complesso, questo tratto di Adda si presenta meno alterato rispetto ai precedenti e, in particolare, è caratterizzato da fasce perifluviali abbastanza ampie e ben strutturate che hanno un'estrema importanza come corridoio ecologico e per la conservazione della biodiversità. In questo tratto non mancano alcuni vetusti interventi artificiali di contenimento spondale che, tuttavia, essendo ben colonizzati dalla vegetazione, conferiscono continuità al corridoio fluviale. Salvo rare eccezioni, le caratteristiche strutturali dell'alveo in queste sezioni sono complessivamente favorevoli ad una buona ritenzione degli apporti trofici (il fondo è per lo più costituito da massi e ciottoli, la successione di raschi e pozze è adeguata e l'alveo bagnato ha una sezione prevalentemente naturale).

Nel breve tratto che segue, fino all'altezza di Piateda, la funzionalità fluviale peggiora nuovamente, passando ad una III Classe di Qualità. In queste sezioni il fiume scorre in un territorio caratterizzato prevalentemente da terreni agricoli e da aree urbanizzate. La fascia di vegetazione perifluviale è ridotta o assente del tutto, sostituita in buona parte da interventi artificiali di tenuta stabile. Le caratteristiche strutturali dell'alveo si mantengono tuttavia buone consentendo un discreto metabolismo delle sostanze inquinanti che si riflette anche nel miglioramento delle biocenosi acquatiche.

Proseguendo fin quasi all'altezza di Cedrasco si osserva una nuova ripresa nella funzionalità fluviale dell'Adda che riprende mediamente una II Classe di Qualità. La presenza vicino al fiume dell'abitato di Sondrio si riflette sulla diversa qualità funzionale delle due sponde: la destra, che presenta punteggi di RCE-2 quasi sempre inferiori, risulta essere la più artificializzata, per elementi a difesa dell'abitato, mentre la sponda sinistra ha le caratteristiche di un corridoio fluviale piuttosto integro.

Subito a valle della città di Sondrio anche la sponda destra riacquista caratteristiche funzionali buone, con una fascia di vegetazione perifluviale più ampia e costituita prevalentemente da bosco ripario maturo che conferisce stabilità alle rive.

Un aspetto da sottolineare è la presenza di diverse isole fluviali, lungo questo tratto, che contribuiscono al mantenimento di un'adeguata diversità di microhabitat, a cui consegue una maggiore diversità nelle biocenosi; questi ambienti rappresentano, inoltre, un'importante struttura di ritenzione degli apporti trofici, favorendo così i processi di autodepurazione del fiume. Anche le biocenosi acquatiche riflettono un miglioramento ambientale complessivo in questo tratto fluviale, dovuto anche ad un aumento consistente della portata idrica (grazie alle restituzioni delle centrali e ad alcuni apporti laterali, tra cui il Mallero). Elemento di disturbo sono, per contro, i numerosi frantoi che si succedono in prossimità dell'alveo: oltre ai ben noti danni che provocano a questo ecosistema, direttamente correlati alla loro attività, creano con la loro stessa presenza vaste aree che interrompono ed alterano profondamente la zona riparia. Passando a descrivere il percorso fluviale compreso tra Fusine e Ardenno, poco a valle dell'ingresso del torrente Masino, la complessità strutturale dell'ecosistema fluviale diminuisce ed è prevalentemente caratterizzata da una III Classe di qualità RCE-2. Il territorio circostante è contraddistinto per lo più dalla presenza di terreno agricolo ed aree urbanizzate, unica eccezione è rappresentata da alcuni brevi tratti boscati. La fascia perifluviale, di ampiezza molto variabile, non è sempre presente ed è spesso interrotta. L'alveo del fiume assume un aspetto più uniforme e monotono per la presenza di substrati sabbiosi e limosi e per l'assenza di meandri e di raschi; le artificializzazioni dell'alveo presenti impoveriscono la varietà di microabitat e rendono l'ambiente meno efficiente nella rimozione delle sostanze inquinanti.

Una situazione di particolare degrado si riscontra in prossimità di Ardenno, dove la presenza dello sbarramento presso l'abitato determina un notevole rallentamento della corrente ed un allargamento dell'alveo bagnato a monte dello stesso sbarramento. Questo fatto induce una profonda trasformazione nell'ecosistema fluviale che diventa improvvisamente un ambiente di acque lentiche, il quale, per sua natura, è poco efficiente nel processo di autodepurazione delle acque. Questa situazione coincide con un territorio circostante caratterizzato da aree urbanizzate ed intensiva attività agricola che incidono negativamente sulla qualità delle acque stesse, in quanto fonti di inquinamento diffuso difficilmente depurabile. A ciò si aggiunge il fatto che in questa sezione la fascia perifluviale di vegetazione, che potrebbe giocare un ruolo determinante nella rimozione e nell'"intrappolamento" degli inquinanti, è praticamente assente essendo stata sostituita da interventi artificiali.

E' interessante fare un confronto con la successiva sezione, a valle dello sbarramento, in cui permangono le stesse caratteristiche della zona riparia e del territorio circostante, ma cambiano drasticamente le caratteristiche idrauliche e strutturali dell'alveo che ritorna ad essere quello di un ambiente di acque tipicamente correnti, con una portata decisamente inferiore. Questi sbalzi morfologici non giovano al mantenimento di adeguate biocenosi vegetali e alterano profondamente la continuità del corridoio fluviale. Inoltre non si deve dimenticare che l'acqua di un fiume a valle di uno sbarramento ha una capacità erosiva maggiore.

La successiva sezione, una I Classe di Qualità RCE-2, rappresenta uno dei pochi tratti in cui l'ecosistema fluviale mostra un'ottima funzionalità, ma è troppo breve rispetto alla lunghezza dell'intero corso d'acqua per poter esercitare un effetto positivo sulle biocenosi acquatiche, che, infatti, non modificano sostanzialmente la struttura rispetto alle altre sezioni. In questo tratto la fascia di vegetazione perifluviale è ampia e costituita da vegetazione riparia ben diversificata e continua che delinea un valido corridoio ecologico per le biocenosi animali e un ambiente "tampone" rispetto agli ingressi di inquinanti nel fiume. Le rive sono stabili e la struttura dell'alveo offre efficienti meccanismi di ritenzione degli apporti trofici.

Da Talamona fino alla foce nel lago di Como, il fiume Adda presenta caratteristiche di funzionalità ecologica che lo collocano complessivamente in una III Classe di Qualità RCE-2. L'ambiente ripario mostra lunghi tratti con difese spondali ed arginature realizzate secondo criteri che non assomigliano per nulla a quelli naturali e che non lasciano la minima possibilità alla vegetazione spontanea di insediarsi per svolgere il suo compito così importante nella corretta dinamica fluviale.

In alcuni tratti sono presenti arginature in massi cementati il cui effetto "reale" è quello di diminuire la diversità di microhabitat e, conseguentemente, delle biocenosi (che sono il "cuore" depurante del fiume), separare il fiume dal territorio circostante, aumentarne la velocità di corrente ed il potere erosivo per poi generare la necessità più a valle di altre difese spondali. Oltre all'evidente impatto paesaggistico, non deve essere dimenticato l'impatto biologico di questi interventi: l'uniformità morfologica delle sponde si comporta come una "barriera biologica" che ostacola il passaggio delle comunità animali da monte verso valle e vice versa.

Nella sezione che va dal depuratore di Morbegno fino a Piussogno, gli argini del fiume sono molto distanti e consentono al corso d'acqua di spostarsi da un argine all'altro: si creano così ampie fasce di vegetazione riparia che aumentano la biodiversità dell'ecosistema e ne irrobustiscono la struttura.

Da Mantello in poi la presenza degli argini restringe l'alveo del fiume; tuttavia queste difese spondali sono risultate ben colonizzate dalla vegetazione al punto che in certi tratti è difficile individuare la presenza della difesa artificiale. Nel suo tragitto finale, l'Adda scorre in un territorio caratterizzato prevalentemente da terreni agricoli ed aree urbanizzate. L'ambiente fluviale è di tipo potamale con un fondo dell'alveo costituito prevalentemente da sedimenti sabbiosi. Il percorso artificializzato presenta pochi meandri e solo qualche piccola briglia in massi concede un minimo di turbolenza alle acque del fiume. In questo tratto l'ecosistema si rivela piuttosto fragile a causa della uniformità delle strutture in alveo. La fascia di vegetazione perifluviale che ha in parte colonizzato gli argini crea, tuttavia, una sorta di filtro tra il fiume e il territorio circostante consentendo nel contempo un passaggio più graduale tra l'ambiente acquatico e quello terrestre che favorisce l'incremento della biodiversità.

Fiume Mera

La valutazione della qualità funzionale del fiume Mera è stata effettuata nel tratto compreso tra il confine con la Svizzera e la sua confluenza nel Lago di Como. Nella primavera che ha preceduto i rilevamenti, un improvviso e cospicuo di fanghi dal lago artificiale, situato a monte del tratto oggetto di studio, ha modificato l'ambiente fluviale, in particolare la morfologia dell'alveo, con conseguenze disastrose per le biocenosi. Ciononostante, nel corso dei rilievi non sono state riscontrate situazioni anomale direttamente collegabili con l'evento sopra descritto.

Il tratto iniziale del fiume Mera scorre in un territorio caratterizzato da boschi ed incolti e presenta una vegetazione perifluviale ampia e composta da vegetazione arbustivo-arborea tipicamente riparia; la complessità strutturale di questo ambiente e, conseguentemente, la sua

funzionalità fluviale sono molto buone (I e II Classe di Qualità RCE-2). A tratti vi sono interruzioni del corridoio ripario dovute a fattori naturali (rocce, erosioni) o interventi artificiali (briglie, difese spondali), che tuttavia hanno un'importanza limitata, perché limitata è la loro estensione lungo il corso d'acqua. Sono presenti ottime strutture di ritenzione degli apporti trofici che contribuiscono ad un efficiente metabolismo del corso d'acqua. La ricca vegetazione riparia presente, inoltre, arricchisce la varietà di microambienti acquatici: le radici sommerse modificano localmente la natura del substrato, mentre la flora algale differisce tra le zone ombreggiate e soleggiate. La vegetazione, inoltre, attenua l'escursione termica diurna e stagionale e riduce la velocità della corrente durante le piene, proteggendo le rive dall'erosione. Questo tratto di fiume rappresenta uno degli ambienti di maggiore pregio incontrati nel corso dei rilievi RCE-2.

Lo scadimento principale, lungo questo percorso, è rappresentato da un piccolo tratto in corrispondenza di Borgonuovo nel quale le difese spondali sostituiscono la vegetazione riparia provocando un decadimento della qualità funzionale (III Classe di Qualità RCE-2).

Proseguendo fino a valle di Era, le caratteristiche strutturali del corso d'acqua peggiorano sensibilmente (III C.Q. con qualche tratto in II C.Q.). Il territorio circostante si fa via via più antropizzato con presenza di aree urbanizzate limitrofe al corso d'acqua che riducono drasticamente l'ampiezza della fascia di vegetazione perifluviale prevalentemente arbustiva.

L'analisi delle condizioni idrauliche ha messo in evidenza un alveo di morbida largo quasi sempre il doppio rispetto all'alveo bagnato (nonostante i rilievi siano stati fatti in un periodo di morbida idrologica) e la presenza di ampie fasce di greto colonizzate solo da vegetazione erbacea; tutto ciò rivela che il Mera è soggetto a sbalzi repentini di portata idraulica che amplificano il processo di erosione. Infatti, proprio in questo tratto troviamo sponde erose che si alternano ad interventi artificiali di tenuta stabile. Tali interventi di artificializzazione implicano sovente un raddrizzamento del percorso fluviale e, conseguentemente, una maggiore uniformità ambientale che, tra l'altro, potrebbe vanificare i continui ripopolamenti ittici ai quali questo corso d'acqua è soggetto. Infatti, la scarsità di ricoveri per l'ittiofauna espone i pesci alla piena corrente e ad un eccessivo dispendio energetico. Le uniformi profondità e velocità di corrente, indipendentemente dal loro valore assoluto, sono inoltre necessariamente inadatte ad uno o più cicli vitali ed impediscono quindi alle specie ittiche di compiere il loro completo ciclo di sviluppo nel tratto canalizzato.

Dall'abitato di Casenda fino al lago di Mezzola il territorio circostante il fiume è caratterizzato per lo più da prati e boschi ed è presente una fascia riparia ampia e ben strutturata, composta prevalentemente da vegetazione arborea riparia. Queste caratteristiche generano un miglioramento funzionale complessivo (II e I C.Q.) anche se, talvolta, l'integrità della zona riparia è interrotta da escavazioni e frantoi che compromettono la continuità del corridoio fluviale in sponda sinistra e alterano profondamente l'ecotono di transizione tra l'ambiente acquatico e quello terrestre.

L'ultimo tratto del fiume, compreso tra il lago di Mezzola e il lago di Como, assume un carattere potamale, le acque rallentano e le caratteristiche strutturali dell'alveo non consentono efficienti meccanismi di ritenzione degli apporti trofici (III C.Q. RCE-2); in questa sezione si osservano solo tratti di canneto perifluviale che contribuiscono a filtrare gli apporti inquinanti dal territorio circostante. Il percorso, raddrizzato artificialmente, priva questo tratto di fiume di una risorsa naturale, i meandri, che giocano un importante ruolo nel processo di autodepurazione fluviale. La vegetazione perifluviale risulta spesso interrotta ostacolando così gli scambi delle biocenosi lungo il corridoio fluviale. Tutti gli elementi finora descritti semplificano la struttura ecosistemica di questo tratto fluviale e ne mettono in luce il contrasto con la pregevole espressione estetica e paesaggistica.

Torrente Mallero

Nel suo tragitto iniziale il Mallero scorre su un ampio alveo di morbida, molto maggiore rispetto all'alveo bagnato, e lungo le sponde si possono osservare saltuari fenomeni di erosione. Il territorio circostante è per lo più coperto da boschi e pascoli e la fascia riparia appare complessivamente ampia e ben strutturata.

Il tratto del Mallero della Val Ventina costituisce un esempio di corso d'acqua con un'ottima funzionalità che si accompagna ad un'elevata naturalità. Scendendo a Pian del Lupo la funzionalità dell'ecosistema peggiora, in parte per una minore efficienza delle strutture di ritenzione degli apporti trofici, in parte a causa di qualche elemento di urbanizzazione che interrompe l'integrità della zona riparia.

Un valore di RCE-2 molto basso è stato registrato all'altezza dell'abitato di Chiareggio, in sponda sinistra: le motivazioni di questo basso punteggio sono da ricercarsi principalmente nelle caratteristiche della zona riparia e del territorio circostante e nelle caratteristiche idrauliche. Le popolazioni acquatiche e le caratteristiche dell'alveo, al contrario, sono tipiche di un ambiente ben strutturato. In particolare, la difesa spondale in corrispondenza dell'abitato di Chiareggio comporta l'eliminazione della fascia riparia e rende il torrente più vulnerabile nei confronti dell'inquinamento. Proseguendo fino a valle della frazione di Ca' Rotte, il torrente recupera una buona qualità ambientale (a parte qualche breve tratto in erosione). Successivamente, all'altezza della località Sabbionaccio e degli abitati di S. Giuseppe e Vallascia fino alla Cava di Serpentino, il territorio circostante, fatte alcune eccezioni, si fa via via più antropizzato e si osserva una qualità ambientale sempre più scadente. La fascia riparia, laddove non completamente assente, risulta costituita da vegetazione arbustiva o erbacea che ha scarsa capacità filtro e non è strutturalmente adeguata per funzionare come corridoio ecologico. Si osservano lunghi tratti in erosione che rappresentano il risultato di un'azione sinergica tra la forte variabilità delle portate idrauliche e la scarsa stabilità delle rive. Le caratteristiche idrauliche e strutturali dell'alveo, inoltre, denunciano un ambiente con scarsa capacità di metabolizzare gli apporti inquinanti con la conseguenza che i popolamenti acquatici subiscono un discreto depauperamento. Gli scarichi fognari di S. Giuseppe recapitano direttamente nel torrente, senza alcun trattamento di depurazione, proprio nel tratto in cui questo ecosistema risulta essere più vulnerabile.

Proseguendo fino a monte delle briglie tra Cave d'Ardesia e Cave di Serpentino, il torrente registra un notevole recupero della qualità ambientale, poiché vede il ripristino di una ampia zona riparia boscosa, solo occasionalmente interrotta, con rive saldamente trattenute anche da radici arboree e dove i fenomeni erosivi si evidenziano solo nelle curve e nelle strettoie. Anche la struttura dell'alveo, con fondo a massi e ciottoli, presenta una capacità di ritenzione adeguata ad un efficiente metabolismo fluviale, contribuendo al miglioramento della qualità strutturale di questo ecosistema. Purtroppo, questi aspetti positivi si attenuano fino a scomparire proseguendo verso valle: fino all'ingresso in Chiesa Valmalenco, il torrente Mallero si colloca, per lo più, in una III classe di qualità RCE-2. In questo tratto il corridoio fluviale è spesso interrotto da aree urbanizzate ed interventi artificiali che si alternano ad aree in evidente erosione. La fascia riparia è spesso assente con gravi conseguenze per l'effetto filtro che questa svolge nei confronti degli apporti inquinanti. Queste alterazioni si riflettono conseguentemente sulle biocenosi acquatiche che subiscono un impoverimento progressivo. La situazione rilevata in questo tratto è piuttosto preoccupante, poiché mette in luce un ambiente strutturalmente molto banalizzato e con scarsi meccanismi di compensazione alle turbative esterne, come gli scarichi inquinanti o le alterazioni antropiche della porzione di territorio che insiste su questo bacino. Le derivazioni di acque, quali ad esempio la presa di Curlo, generano un impatto amplificato sul torrente: da un lato, infatti, la scarsità d'acqua accentua i fenomeni di inquinamento per un minore effetto di diluizione, d'altra parte

L'assenza di una fascia perifluviale ben strutturata favorisce l'immissione di sostanze inquinanti nel corso d'acqua che peggiora così la sua qualità, in misura proporzionale alla quantità di acqua derivata.

Questo fatto si riflette in modo negativo su tutta le restante parte di torrente. Proseguendo verso valle, si rileva un breve tratto che da Chiesa Valmalenco arriva fino a monte di Torre S. Maria, in cui il Mallero recupera leggermente grazie ad una maggiore stabilità delle rive, ad una più marcata presenza in alveo di strutture di ritenzione degli apporti trofici e ad una zona riparia più ampia e strutturata. Unica eccezione, la presenza di un muro di difesa in sponda destra in corrispondenza dell'abitato di Chiesa Valmalenco che interrompe la continuità del corridoio fluviale.

Successivamente, nel tratto che va da Torre di S. Maria fino a circa un chilometro a valle di Spriana, la qualità ambientale del torrente si rivela pesantemente compromessa. Gli elementi che appaiono maggiormente degradati sono la fascia riparia, spesso assente o poco strutturata, e le rive in erosione o sostenute da interventi artificiali. L'assenza di una fascia perifluviale che filtri gli apporti inquinanti provenienti dal bacino sotteso ha ripercussioni anche sulle biocenosi acquatiche, con comunità macrobentoniche decisamente povere. E' opportuno sottolineare che il Mallero riceve gli scarichi fognari di Lanzada, Chiesa, Caspoggio e Torre di S. Maria proprio nel tratto in cui le sue caratteristiche strutturali lo rendono più vulnerabile. Poco più a valle, per circa un chilometro a monte di Arquino, si osserva ancora un ultimo tratto di torrente in I classe di qualità RCE-2, dove la fascia riparia arbustiva e boscosa è ampia ed integra e le rive sono stabili. Il fondo dell'alveo, costituito per lo più da massi e ciottoli, presenta adeguate strutture di ritenzione degli apporti trofici. Ciononostante, la qualità delle biocenosi acquatiche si mantiene scadente, caratterizzata da pochi organismi macrobentonici e da taxa resistenti all'inquinamento, perché un così breve tratto di ambiente ben strutturato e funzionale non è sufficiente per consentire una ripresa della qualità della vita acquatica.

Negli ultimi chilometri che precedono lo sbocco nel fiume Adda si osserva nuovamente una flessione della qualità ambientale di questo ecosistema, flessione che si accentua maggiormente proseguendo verso la foce. In particolare, nel tratto in cui il torrente attraversa la città di Sondrio, si rileva la situazione peggiore in assoluto: gli edifici e le infrastrutture chiudono il corso d'acqua tra sponde rettificata e artificiali che delimitano un alveo ristretto nel quale non riesce a svilupparsi neppure la vegetazione riparia pioniera. Solo in prossimità della foce la zona riparia arbustiva favorisce una maggiore complessità ambientale che restituisce un po' di funzionalità all'ecosistema poco prima di sfociare nel fiume Adda.

7.5.2 Proposta per la compilazione di una cartografia di sintesi riguardante gli aspetti ecosistemici

Una possibile soluzione per integrare in un'unica cartografia tematica le informazioni presentate nei paragrafi 7.4.1, 7.4.3 e 7.4.4, atte a definire la valenza ecosistemica dei corsi d'acqua sottoposti a derivazione, proviene dall'applicazione di un indice sintetico, costruito sulla base dell'*Indice Natura* (Nardini & Sansoni, 2006), presentato nell'allegato 13 del Piano di Tutela e Uso delle Acque della Regione Lombardia, e che può fornire un'immagine dello stato ambientale complessivo di un corso d'acqua. In tale indice, la classica caratterizzazione basata sulla qualità dell'acqua, tipica dei Piani di Tutela, è integrata con ulteriori aspetti di tipo geomorfologico, biologico e idrologico.

Il metodo rileva le caratteristiche principali del fiume e permette di esprimere un giudizio sintetico sul loro stato (*Valore Natura*). Essere in grado di misurare il valore natura è

importante perché l'obiettivo della riqualificazione (*Obiettivo Natura*) è proprio aumentare tale valore e il poterlo misurare permette di esplicitare il margine di miglioramento ottenibile sul corso d'acqua, nonché i vincoli necessari o gli usi compatibili.

Per misurare il valore natura i passi necessari sono:

- scegliere gli attributi (o descrittori) rilevanti per descrivere lo stato del sistema fluviale;
- definire uno o più indicatori significativi per ogni attributo;
- introdurre giudizi di importanza relativa per ogni indicatore (pesi).

L'*Indice Natura* è ottenuto come aggregazione di tre sub-indici:

- l'Indice Salute (che misura la vicinanza a uno stato di riferimento dotato di integrità ecologica);
- l'Indice di Naturalità Morfologica (che misura la vicinanza all'assetto morfologico originario);
- l'Indice di Rilevanza Naturalistica (che misura la presenza di zone protette e/o peculiari e la loro importanza).

Per determinare la naturalità di un corso d'acqua occorre definire uno *stato originario* (*reference*) con cui confrontarsi e misurare la vicinanza dello stato attuale ad esso. Lo stato originario rappresenta dunque la condizione preesistente rispetto alla quale si valuta in che misura il corso d'acqua è stato modificato. In Italia, e a maggior ragione in ambiti montani quali la Valtellina, è difficile e arbitrario identificare una soglia temporale che segni il passaggio da una situazione naturale ad una antropizzata. E' tuttavia possibile considerare che le grandi modifiche del territorio siano avvenute nei primi decenni del 1900 con la deforestazione, la costruzione di grandi dighe e l'estrazione di inerti dagli alvei.

Per questo motivo si può far riferimento alla cartografia IGM del 1877 e alle foto aeree del volo GAI del 1954, soprattutto per quanto riguarda la geomorfologia e l'uso del suolo. Per determinare la salute del corso d'acqua è necessario definire un altro stato caratterizzato da integrità ecologica, lo *stato di riferimento*.

Gli attributi sono descrittori utilizzati per caratterizzare lo stato di un corso d'acqua e comprendono aspetti fisici, biologici e chimici dell'ambiente fluviale.

Attributi per l'indice Naturalità Morfologica

- morfologia dell'alveo: caratterizza la "geometria" dell'alveo;
- tracciato: caratterizza l'andamento territoriale per evidenziare eventuali modifiche artificiali (ad esempio rettificazione, spostamento della foce,...);
- artificialità: caratterizza la rigidità e la non-naturalità imposta al corso d'acqua da opere di difesa, regimazione, sfruttamento,...

Attributi per l'indice Salute

- equilibrio morfologico: caratterizza la tendenza dell'alveo a mantenere o meno la propria struttura (pendenza, larghezza, profondità, sinuosità, ecc.) nel tempo, pur modificandosi e variando di tracciato, cioè a mantenere un equilibrio dinamico;
- rapporto con la piana: caratterizza lo scambio di volumi idrici, energia, composti biochimici tra il corso d'acqua e l'ambiente fluviale. Alveo e piana alluvionale costituiscono infatti un sistema unitario: quando la piana viene inondata riceve materiali per i processi di erosione e deposizione che rimodellano l'alveo, oltre che nutrienti e habitat per comunità vegetali e animali. La piana costituisce lo spazio fisico per immagazzinare temporaneamente le acque di piena e i sedimenti del bacino idrografico, funzionando da importante regolatore dei deflussi. Questo rapporto è importante per l'ecosistema nel suo

complesso, la biodiversità, i cicli biogeochimici, per l'abbattimento dei carichi inquinanti e la laminazione delle piene;

- regime idrico: caratterizza la portata in alveo e la sua distribuzione caratteristica nel tempo. Il regime idrologico nei corsi d'acqua dipende dalla raccolta diretta delle precipitazioni e dall'acqua che viene drenata dal bacino verso il corpo idrico principale. Dipende anche dalla gestione di serbatoi idrici artificiali o naturali regolati. La variabilità del regime idrologico influenza le funzioni ecologiche che si svolgono nell'ecosistema fluviale;
- qualità dell'acqua: caratterizza le condizioni di temperatura, di ossigenazione, di acidificazione, dei nutrienti e delle popolazioni di macroinvertebrati;
- vegetazione: caratterizza estensione, struttura e associazioni vegetali che popolano le sponde del corso d'acqua e la superficie di territorio da esso influenzata. La vegetazione svolge diverse funzioni nei sistemi fluviali:
 - a ridosso dell'alveo bagnato la vegetazione agisce da filtro per i sedimenti e i nutrienti provenienti dal territorio, depurando le acque di dilavamento del suolo,
 - consolida le sponde per mezzo dell'apparato radicale, stabilizza l'alveo,
 - i tronchi e il detrito vegetale caduti in acqua esercitano un significativo controllo sulla morfologia e sui processi fluviali, inducendo erosione in alcuni punti e deposizione in altri (buche e raschi) e arricchendo la diversità ambientale con la formazione di microhabitat per le comunità ittiche e bentoniche,
- comunità ittica: i pesci sono ecologicamente importanti perché rappresentano i vertebrati di maggiori dimensioni e sono spesso i predatori all'apice della catena alimentare dei sistemi acquatici. Il numero e la composizione in specie dei pesci dipende dalla localizzazione geografica del corso d'acqua, dalla sua storia evolutiva, dalla corrente, profondità, substrato, morfologia delle sponde, dalla qualità dell'acqua e dalle interazioni biotiche (predazione, competizione, sfruttamento delle risorse). Queste caratteristiche rendono la fauna ittica indicatore della qualità dell'ambiente fluviale,
- comunità macrobentonica: i macroinvertebrati colonizzano tutti i tipi di substrato e sono rappresentati da taxa con una vasta gamma di adattamenti e di resistenze. Occupano tutti i ruoli trofici dei consumatori e funzionano da filtratori, collettori, raschiatori, trituratori, predatori. Analogamente alla fauna ittica tali caratteristiche li rendono degli ottimi indicatori della qualità dell'ambiente fluviale.

Attributo di valore naturalistico

Caratterizza la presenza di siti di particolare rilievo per la conservazione di ecosistemi e l'importanza riconosciuta loro nel mantenimento del patrimonio naturale internazionale, nazionale, regionale e locale.

8. RISCHIO DI MANCATO RAGGIUNGIMENTO DEGLI OBIETTIVI DI QUALITÀ AMBIENTALE DEI CORSI D'ACQUA

8.1 PREMESSA

La direttiva quadro 2000/60 in materia di acque dell'Unione Europea (o *Water Framework Directive* – WFD) ha definito un quadro comunitario per la protezione e la gestione delle acque. Le richieste della direttiva si orientano sia verso la classificazione delle acque europee e delle loro caratteristiche, sia verso l'adozione di piani di gestione e tutela volti a fornire misure adeguate per la salvaguardia di ciascun corpo idrico.

La WFD prevede una tabella di marcia, diluita su un orizzonte temporale di quindici anni dopo l'entrata in vigore, per il raggiungimento degli obiettivi prefissati. In sintesi, i passi intermedi previsti sono:

- l'individuazione dei bacini idrografici e la loro assegnazione a distretti idrografici, nazionali o internazionali, per cui è prevista l'istituzione di un'autorità competente;
- dopo quattro anni, per ciascun distretto idrografico vengono effettuate l'analisi delle caratteristiche del distretto stesso, l'esame dell'impatto delle attività antropiche sulle acque e l'analisi economica dell'utilizzo idrico. Vengono individuate le aree alle quali è attribuita una protezione speciale;
- dopo nove anni, per ciascun distretto idrografico è predisposto un piano di gestione ed un programma di misure che, tenuto conto delle analisi e degli studi effettuati, mirino a impedire il deterioramento e a proteggere, migliorare e/o ripristinare le condizioni dei corpi idrici superficiali, raggiungendo un buono stato chimico ed ecologico e riducendo l'inquinamento dovuto agli scarichi e alle emissioni di sostanze pericolose. Viene altresì stabilito che i piani mirino a preservare le aree protette;
- Gli obiettivi stabiliti dai piani devono essere conseguiti entro quindici anni.

Gli obiettivi generali di tali azioni possono essere così riassunti:

- a) Impedire il deterioramento e migliorare lo stato degli ecosistemi acquatici e delle zone umide che da essi dipendono;
- b) Garantire un utilizzo idrico sostenibile basato sulla protezione a lungo termine delle risorse idriche;
- c) Assicurare una protezione rafforzata e il miglioramento dell'ambiente acquatico attraverso la progressiva riduzione di scarichi e emissioni di sostanze prioritarie e cessazione delle emissioni di sostanze pericolose prioritarie;
- d) Assicurare la riduzione dell'inquinamento delle acque sotterranee e prevenire il loro ulteriore inquinamento;
- e) Mitigare gli effetti delle inondazioni e della siccità.

Tra i principi ispiratori alla base dell'applicazione della WFD, è importante citare, nel presente contesto, il principio di precauzione, volto al non deterioramento della risorsa, e dell'azione preventiva. Il principio di non deterioramento viene individuato, in base all'articolo della direttiva, come prerequisito per il raggiungimento, entro il 2015, del buono stato di qualità per le acque superficiali e sotterranee.

La presente pianificazione del bilancio idrico delle risorse della Provincia di Sondrio è ovviamente orientata al conseguimento degli obiettivi definiti dalla WFD, peraltro recepiti anche dal D.Lgs. 152/06 (artt. 76 e 77).

Pertanto, gli indici di rischio prima presentati devono essere presi in considerazione allo scopo di fornire un quadro preciso e dettagliato del rischio di mancato raggiungimento degli obiettivi di qualità previsti dalla normativa vigente.

8.2 INDICI DI RISCHIO

I diversi indici di rischio di criticità quantitativa, esposti nel cap. 6 con le corrispondenti mappature del reticolo idrografico, nonché gli indici di rischio di criticità qualitativa e morfologica esposti nel cap. 7 relativi sia alla qualità delle acque nei diversi scenari di portate presenti in alveo (scenari: medio annuo naturale, medio annuo antropizzato, magra) sia agli aspetti ecosistemici e di funzionalità, conducono ad una visione esaustiva per definire il quadro complessivo del rischio di criticità in atto e le conseguenti linee di indirizzo di riequilibrio idraulico e ambientale del PTCP.

Sintetizzando, gli indici proposti sono così raggruppabili:

- a) - Indice rappresentativo delle portate derivate per i diversi usi, suddiviso per settori del territorio provinciale;
- b) - Indici rappresentativi delle lunghezze e delle portate antropizzate dei corsi d'acqua sottesi dagli impianti idroelettrici, suddivisi per settori del territorio provinciale;
- c) - Indici rappresentativi del rischio indotto dalle derivazioni rispetto alle portate medie annue e medie annue di magra (portate medie annue antropizzate e portate medie annue di magra antropizzate), per tutti i tratti del reticolo idrografico;
- d) - Indice rappresentativo del rischio di irregolarità indotto dai serbatoi artificiali, per tutti i tratti del reticolo idrografico;
- e) - Indici rappresentativi del rischio di inquinamento da macrodescrittori (LIM) e della funzionalità fluviale (IFF) per tutti i tratti del reticolo idrografico .

Gli indici a) e b) sono, come visto, riferiti ai 18 settori del territorio provinciale indicati nei paragrafi 6.2 e 6.3. Essi quindi assumono un carattere globale per ogni settore di riferimento e possono essere utili per rappresentare il corrispondente stato di criticità globale di ogni singolo settore.

Invece, gli indici c), d), e), essendo a carattere distribuito, sono stati calcolati per ogni tratto del reticolo idrografico provinciale e consentono quindi di conoscere quali siano i singoli aspetti di criticità che connotano la situazione di ogni elemento del reticolo.

È da sottolineare che, come già più volte esposto, tutti tali criticità distribuite derivano da *scenari di rischio* dedotti dall'interpretazione dettagliata della situazione attuale e dalle conseguenti proiezioni. Si tratta quindi di scenari, che pur potendo non collimare perfettamente con la reale situazione di fatto, definiscono uno strumento assai utile per la definizione delle strategie e normative di Piano lungo l'intero reticolo idrografico.

Come già detto una delle più importanti finalità degli indici di rischio di criticità riguarda la possibilità di derivare da essi i nuovi indirizzi normativi di Piano atti alla tutela della risorsa idrica. Allo scopo si ritiene che, tra i diversi indici sopra esposti, siano particolarmente idonei i seguenti cinque indici che caratterizzano gli aspetti idraulici e ambientali più importanti:

1. *Indice I_L rappresentativo delle lunghezze dei corsi d'acqua non sottesi dagli impianti idroelettrici per settori del territorio provinciale* (v. carta figura 48); rappresenta, per ciascuno dei settori del territorio provinciale indicati alla carta di figura 47, la lunghezza complessiva dei tratti non sottesi dalle derivazioni idroelettriche, in percentuale rispetto alla lunghezza complessiva dei tratti del reticolo idrografico contenuto nello stesso settore, ad esclusione dei tratti di reticolo che sottendono bacini di superficie minore di 5 km²; l'indice varia tra 0%, settori con tratti fluviali totalmente sottesi da derivazioni

idroelettriche, a 100%, settori con tratti fluviali totalmente esenti da derivazioni idroelettriche;

2. *Indice $I_{media, antr}$ della portata media annua antropizzata rappresentativo, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio indotto dalle derivazioni rispetto alla portata media annua naturale* (v. carte Figura 50 e Figura 51); l'indice è calcolato come rapporto percentuale tra la portata media annua antropizzata $Q_{media, antr}$, stimata in ogni tratto del reticolo per effetto delle derivazioni e restituzioni operate per i diversi usi idrici, e la portata media annua naturale $Q_{media, nat}$:

$$I_{media, antr} = \frac{Q_{media, antr}}{Q_{media, nat}};$$

l'indice è classificato nelle seguenti classi:

- Classe C1: criticità moderata o nulla: $I_{media, antr} > 35 \%$
 - Classe C2: criticità media: $20 \% < I_{media, antr} \leq 35 \%$
 - Classe C3: criticità elevata: $10 \% < I_{media, antr} \leq 20 \%$
 - Classe C4: criticità molto elevata: $I_{media, antr} = 10 \%$.
3. *Indice $I_{magra, antr}$ della portata media annua antropizzata di magra rappresentativo, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio indotto dalle derivazioni rispetto alla portata media annua naturale di magra* (v. carte Figura 58 e Figura 59); l'indice è calcolato come rapporto percentuale tra la portata media annua antropizzata nei periodi di magra $Q_{magra, antr}$, stimata in ogni tratto del reticolo per effetto delle derivazioni e restituzioni operate per i diversi usi idrici, e la portata media annua naturale $Q_{media, nat}$:

$$I_{magra, antr} = \frac{Q_{magra, antr}}{Q_{media, nat}};$$

la portata media annua nei periodi di magra è calcolata in base alla stima del deflusso di base medio annuo ottenuto dalla ricostruzione dei meccanismi di infiltrazione delle precipitazioni e di restituzione dei deflussi sotterranei per via ipodermica e profonda;

l'indice è classificato nelle seguenti classi:

- Classe C1: criticità moderata o nulla: $I_{magra, antr} > 20 \%$
 - Classe C2: criticità media: $10 \% < I_{magra, antr} \leq 20 \%$
 - Classe C3: criticità elevata: $5 \% < I_{magra, antr} \leq 10 \%$
 - Classe C4: criticità molto elevata: $I_{magra, antr} \leq 5 \%$.
4. *Indice I_{serb} rappresentativo, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio di irregolarità indotto dai serbatoi artificiali sul regime dei corsi d'acqua* (v. carta Figura 61); l'indice è calcolato come rapporto percentuale tra il volume utile del serbatoio V_{serb} o del complesso di serbatoi e il volume di deflusso medio annuo naturale nella sezione di restituzione D_{medio} :

$$I_{serb} = \frac{V_{serb}}{D_{medio}};$$

l'indice è classificato nelle seguenti classi:

- Classe C1: criticità moderata o nulla: $I_{serb} \leq 10 \%$
 - Classe C2: criticità media: $10 \% < I_{serb} \leq 20 \%$
 - Classe C3: criticità elevata: $20 \% < I_{serb} \leq 35 \%$
 - Classe C4: criticità molto elevata: $I_{serb} > 35 \%$.
5. *Indice I_{LIM} rappresentativo, per ogni tratto del reticolo idrografico, del rischio di inquinamento LIM nello scenario "portate medie annue antropizzate di magra"* (v. carta Figura 78); corrisponde alla classe di qualità LIM calcolata in base alle concentrazioni dei principali macrodescrittori (escludendo *E. coli*, parametro

caratterizzato da una forte incertezza, e l'ossigeno disciolto, per il quale non vi sono dati sufficienti ad una elaborazione) ottenute come rapporto tra i carichi emessi dagli impianti di depurazione e la portata media annua antropizzata di magra lungo i tratti a valle dello scarico; i carichi emessi sono determinati in base al prodotto delle concentrazioni massime ammissibili allo scarico, di cui alle tabelle di legge, per le portate di riferimento delle rispettive popolazioni equivalenti di progetto servite dagli impianti stessi; l'indice è classificato nelle classi C1, C2, C3, C4: la classe C1 corrisponde alle classi di qualità LIM 1 (ottima) e 2 (buona), la classe C2 corrisponde alla classe di qualità LIM 3 (sufficiente), la classe C3 corrisponde alla classe di qualità LIM 4 (scadente), la classe C4 corrisponde alla classe di qualità LIM 5 (pessima).

6. *Indice I_{IFF} rappresentativo della connettività e della funzionalità ecologica* (Figura 80); l'indice è basato sullo studio della funzionalità fluviale IFF effettuato dalla Provincia di Sondrio (2001) per i seguenti corsi d'acqua: Adda, Mera, Mallero, Cervio, Liro, Livrio, Madrasco, Poschiavino e Spoel; l'indice è classificato nelle classi C1, C2, C3, C4; la classe C1 corrisponde alla classe di qualità IFF III/IV, IV, IV/V e V; la classe C2 corrisponde alla classe di qualità IFF III, la classe C3 corrisponde alla classe di qualità IFF II e II/III, la classe C4 corrisponde alla classe di qualità IFF I e I/II

La diretta sovrapposizione degli indici distribuiti di rischio di criticità 2, 3, 4, 5, 6 conduce alla carta dell'indice $I_{rischio}$ più critico, rappresentativo per ogni tratto del rischio di mancato raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale del corso d'acqua di cui agli art. 76 e 77 del D.Lgs. 152/06 dei diversi tratti del reticolo riportata nella seguente Figura 81.

8.3 LINEE DI INDIRIZZO NORMATIVO

Sulla base di tale quadro conoscitivo è possibile indicare le principali linee di indirizzo normativo attinenti alla tutela delle risorse idriche superficiali.

1. È anzitutto da affermare un criterio di salvaguardia dei piccoli bacini, che nel corso della precedente trattazione sono stati individuati in quelli di superficie minore di 5 km². Le motivazioni attengono al carattere di forte intermittenza che contraddistingue soprattutto i piccoli bacini montani, con conseguente possibilità di magre pronunciate per periodi prolungati, e alla fragilità del loro ecosistema.
2. L'indice I_L , rappresentativo dello stato di sfruttamento globale dei 18 settori del territorio provinciale indicati nei par. 6.2 e 6.3, appare utile come indicatore-guida, essendo legato al solo dato incontrovertibile delle lunghezze sottese dalle derivazioni (v. Figura 52). Dopo attente considerazioni sembra corretta per tali 18 settori l'adozione di un valore di soglia pari al 40 %. Con tale scelta i settori Spol, Val Grosina, Tributari di destra Adda tra Tresenda e Sondrio, Mallero, Tributari di sinistra Adda a valle di Sondrio, Tributari di destra Adda a valle di Sondrio, Tartano e limitrofi, Masino, Codera – Ratti, Reno di Lei forniscono valori di $I_L > 40\%$ e quindi potrebbero, considerando solo tale indice e non le altre criticità, presentare la possibilità di nuove derivazioni. In aggiunta a tale adozione riferita ai diversi settori territoriali, appare opportuno prendere separatamente in considerazione la particolare situazione delle aste principali dell'Adda e del Mera, per le quali l'indice I_L è assai basso e per le quali sembra quindi assolutamente inopportuna qualsiasi ulteriore derivazione d'acqua.
3. Devono essere salvaguardate le aree di elevato interesse naturalistico e paesaggistico individuate nel PTCP;
4. Gli indici 2, 3, 4, 5, 6 che caratterizzano ogni tratto del reticolo idrografico determinano uno stato di rischio ben evidenziato dalla cartografia di Figura 81 riportante l'indice $I_{rischio}$

di ogni tratto. Tale rappresentazione può essere utilizzata per adottare normative di salvaguardia differenziate in funzione del livello di rischio. In particolare appare opportuno adottare politiche precludenti nuove derivazioni nei tratti a rischio R3 e R4 e politiche di prevenzione nei tratti a rischio R1 e R2 atte a impedire che nuove derivazioni possano far assumere ai tratti posti a valle della derivazione livelli di rischio peggiori di quella attuale.

I rinnovi di concessioni esistenti potrebbero essere valutati in funzione del rischio oggi presente e richiedendo che un'analisi specifica dei diversi aspetti di criticità che contraddistinguono il reticolo situato a valle della derivazione conduca alla messa a punto di misure di riduzione delle suddette criticità, di riqualificazione dell'ambiente fluviale e di miglioramento del Deflusso Minimo Vitale.

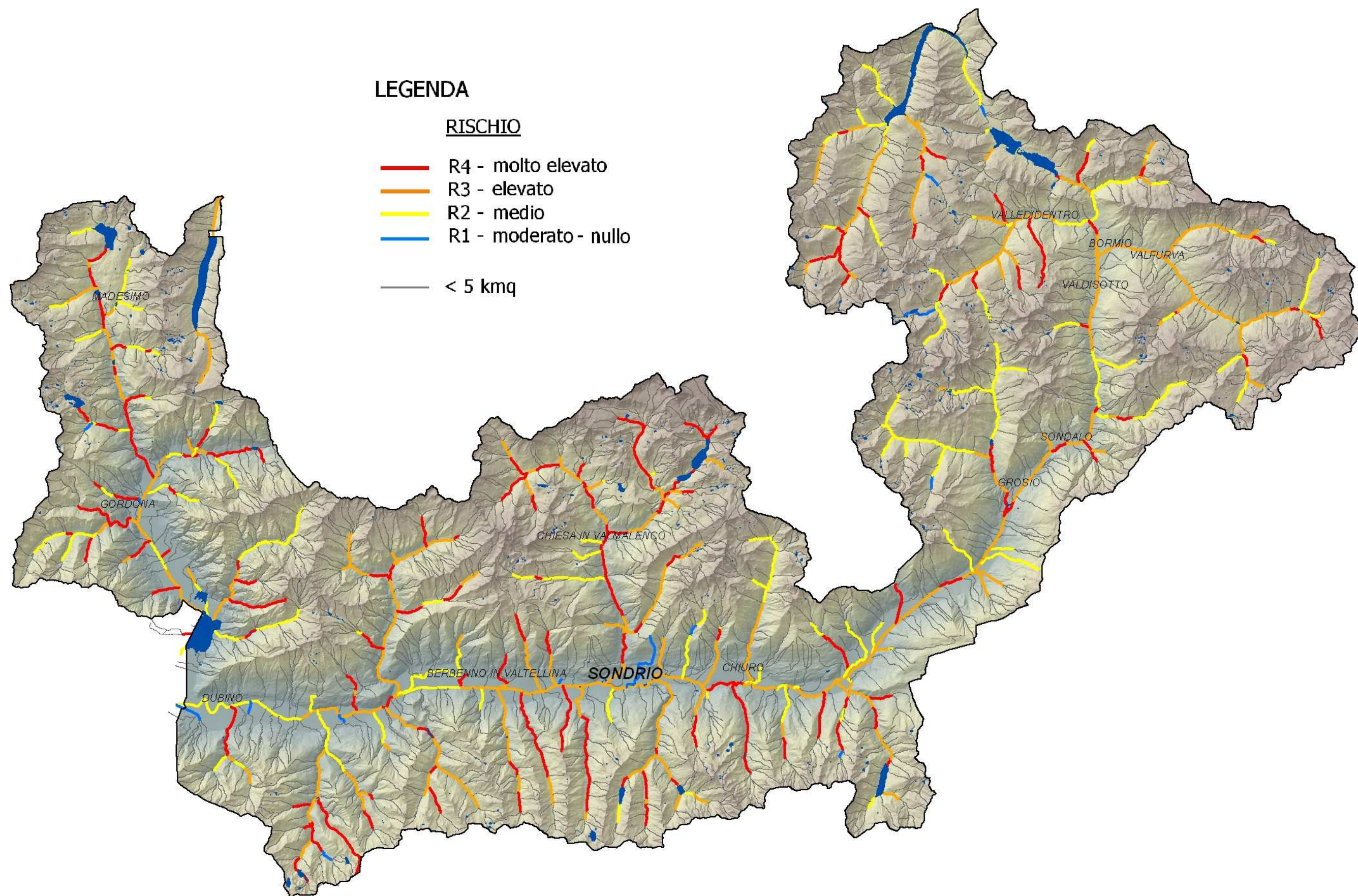


Figura 81. Carta dell'indice di rischio $I_{rischio}$ per ogni tratto del reticolo idrografico, con l'esclusione dei piccoli bacini di superficie < 5 km² (indicati con colore grigio). Questa figura è riprodotta anche nella Tav. 6 del Piano di Bilancio della Provincia di Sondrio.

8.4 CRITICITÀ E INDIRIZZI NORMATIVI PER LA TUTELA DELLE RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE

Gli studi effettuati nell'ambito del Piano di Bilancio Idrico del PTCP hanno portato alla definizione di alcuni indici di sfruttamento (calcolati sulla ricarica efficace) della risorse idrica sotterranea, rispetto alla potenzialità della ricarica media annua. Tale quadro conoscitivo rende necessario preservare le zone di ricarica dei circuiti idrogeologici montani alimentanti le emergenze sorgentizie. È altresì necessario preservare le zone di alimentazione delle falde di fondovalle rappresentanti una risorsa strategica e allo stesso tempo vulnerabile. Pertanto il rilascio o il rinnovo di concessioni di derivazione di acque sotterranee è in generale da subordinare alla effettuazione di studi specifici riguardanti:

- sostenibilità della richiesta in relazione alle strategie di risparmio idrico;
- disponibilità di risorse di minor pregio eventualmente derivanti dal riuso, compatibilmente con gli usi da soddisfare;
- rispetto dell'equilibrio idrogeologico della falda di interesse;
- non interferenza con le aree di alimentazione delle emergenze sorgentizie;
- non interferenza con le zone di tutela assoluta e di rispetto dei pozzi alimentanti acquedotti idropotabili o utilizzi di comprovato interesse pubblico;
- adozione di tecnologie atte ad impedire la connessione di falde differenti.

Per il bacino dell'Adda tra Tirano e Fuentes, in cui le elaborazioni presentate nel par. 5.1 hanno messo in evidenza un elevato sfruttamento del sistema idrogeologico alimentante le emergenze sorgentizie e in cui pertanto l'indice di rischio di criticità assume valori elevati, gli studi dovranno anche consentire di ricostruire il bilancio idrico sotterraneo del bacino di alimentazione dell'opera di captazione della sorgente, riferito alle condizioni medie annue e a quelle stagionalmente più critiche. Ciò allo scopo di dimostrare la sostenibilità della nuova opera, di valutare gli effetti indotti dalla stessa nei riguardi delle altre emergenze sorgentizie presenti nel bacino di alimentazione e di stimare gli effetti modificativi indotti dall'opera di captazione sulla ricarica degli acquiferi di fondovalle.

9. STUDI E MONITORAGGI FUTURI

9.1 STUDI E MONITORAGGI DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Il monitoraggio delle grandezze e dei fenomeni che governano la circolazione idrica sotterranea dovrebbe consentire di raggiungere i seguenti obiettivi:

- a) integrazione e completamento del quadro conoscitivo di base;
- b) perfezionamento e taratura del modello di bilancio idrico delle acque sotterranee attraverso la definizione di bacini idrogeologici di maggior dettaglio, in grado di descrivere anche gli scambi idrici sotterranei con il territorio extra-provinciale;
- c) aggiornamento, anche in termini quantitativi, dei dati relativi ai prelievi ed ai consumi idrici provinciali, per i diversi usi oggetto di concessione;
- d) aggiornamento degli indicatori di rischio di criticità dei prelievi idrici sotterranei;
- e) taratura del deflusso superficiale di base e sua correlazione con la durata della portata di magra di riferimento.

Il completamento del quadro conoscitivo di base presuppone l'esecuzione di un censimento delle manifestazioni sorgentizie non captate (il più accurato possibile) e l'aggiornamento della localizzazione delle sorgenti captate, dotate di concessione alla derivazione per i diversi usi previsti. Il censimento delle sorgenti dovrebbe mirare all'individuazione delle sorgenti "perenni", "semiperenni" e "temporanee", in modo da fornire i dati necessari anche ai fini della taratura della circolazione ipodermica e profonda.

Per le sorgenti captate e non captate si dovrebbe prevedere, almeno per i gruppi di sorgenti maggiormente significative, l'impostazione di un sistema di misura delle portate, con cadenza circa mensile. Per quelle captate e dotate di concessione, sarebbe anche necessario provvedere alla catalogazione sistematica dei dati di portata e qualità presso i titolari delle concessioni.

Il modello di bilancio idrico dovrebbe essere perfezionato attraverso l'individuazione, nell'ambito dei bacini omogenei definiti nel presente studio, di sottobacini idrogeologici, gerarchizzati, in grado di descrivere anche gli scambi idrici sotterranei con il territorio extra-provinciale. Il bilancio, effettuato con la metodologia di cui al presente studio e tarato sulla base del censimento delle sorgenti e delle relative misure di portata, consentirà di ottenere un miglior grado di approssimazione e con maggior dettaglio, sia in termini di bilancio, sia in termini di stima della risorsa disponibile su base annua che in termini di portata di base dei corsi d'acqua superficiali.

Sulla base di quanto sopra, sarà possibile ottenere una mappatura sufficientemente dettagliata del livello di criticità dei prelievi idrici sotterranei alla scala di bacino idrogeologico elementare.

La taratura dei meccanismi che regolano la restituzione delle acque sotterranee al ruscellamento superficiale, oltre al quadro conoscitivo sopra descritto, necessita anche l'impostazione di un oculato monitoraggio delle portate idriche superficiali in bacini idrografici significativi e rappresentativi.

9.2 STUDI E MONITORAGGI DELLE ACQUE SUPERFICIALI

Gli studi qui presentati relativamente al sistema idrico superficiale del territorio provinciale si sono basati su un modello di stima dei deflussi medi annui impostato sulla metodologia del

PTUA regionale e sulla ricostruzione dei meccanismi idrogeologici che governano gli interscambi, positivi o negativi, tra risorse idriche superficiali e sotterranee.

È stato sottolineata più volte l'importanza di tale approccio basato sulla conoscenza fisica dei fenomeni, sia perché le classiche tecniche di analisi statistica delle serie idrologiche possono al momento generare utili informazioni solo per il reticolo principale interessato dalle poche stazioni idrometriche funzionanti, sia perché in ogni caso i dati idrologici trovano la loro massima possibilità di interpretazione nell'ambito della taratura dei modelli a base fisica.

È anche da osservare che sussiste una pesante e inaccettabile incoerenza tra la ridotta disponibilità di dati idrologici di base, limitati come detto a poche stazioni ubicate sul reticolo principale, e la numerosità, entità e distribuzione dei punti di prelievo delle acque per gli usi più svariati. Infatti la presenza di un elevatissimo livello di sfruttamento delle acque superficiali in tutto il reticolo provinciale fino alle sue propaggini montane, oltretutto realizzato a partire dai primi decenni del secolo scorso, avrebbe potuto e dovuto generare una notevolissima quantità di buoni dati conoscitivi sulla disponibilità della risorsa idrica in gran parte dei corsi d'acqua del territorio provinciale.

Un nuovo e autorevole assetto della *governance* delle risorse idriche e l'auspicabile prosecuzione degli studi e dei monitoraggi dovrebbero quindi consentire di colmare almeno parte delle lacune conoscitive. In particolare appaiono necessarie le seguenti azioni:

- a) integrazione della rete di stazioni di monitoraggio nivometrico con migliore copertura dei settori montani;
- b) integrazione della rete di stazioni idrometriche con l'inserimento di nuove stazioni individuate in modo da monitorare livelli e portate in:
 - corsi d'acqua del reticolo minore del settore montano scelti tra quelli esenti da utilizzazioni in atto e in cui i deflussi naturali di base calcolati nel presente studio risultano molto ridotti nei periodi di magra (Indice $I_{magra,nat} < 5\%$); almeno due stazioni rispettivamente per entrambi i bacini dell'Adda e della Val Chiavenna;
 - corsi d'acqua del reticolo minore del settore vallivo scelti tra quelli esenti da utilizzazioni in atto e in cui i deflussi naturali di base calcolati nel presente studio risultano più abbondanti nei periodi di magra (Indice $I_{magra,nat} > 20\%$); almeno due stazioni rispettivamente per entrambi i bacini dell'Adda e della Val Chiavenna;
 - corsi d'acqua del reticolo principale scelti in modo da fornire un quadro efficace degli effetti sul regime fluviale delle derivazioni in atto anche in funzione della presenza dei serbatoi di regolazione;
- c) prosecuzione degli studi interpretativi della formazione dei deflussi superficiali nei sottobacini individuati dalle nuove stazioni idrometriche di cui al punto precedente;
- d) integrazione e completamento del quadro conoscitivo di base per l'intero reticolo provinciale.

È da osservare che l'approntamento di nuove stazioni idrometriche genera immediatamente, nel senso di pochi mesi o stagioni, nuovi frutti conoscitivi qualora i dati progressivamente registrati siano subito inquadrati nei modelli interpretativi a base fisica, quale quello qui presentato. Infatti con la disponibilità delle prime serie registrate di precipitazioni e deflussi, nonché dei rilievi dell'apparato sorgentizio di cui al punto precedente, è possibile ottenere i primi riscontri sperimentali per la ricostruzione dei meccanismi di formazione dei deflussi superficiali e sotterranei.

È così possibile innescare un continuo processo iterativo di progressivi approfondimenti e ritature dei modelli a base fisica che può condurre nel breve – medio termine ad una sostanziale superamento delle attuali carenze conoscitive.

Con la successiva prosecuzione delle registrazioni a medio – lungo termine sarà poi possibile integrare le conoscenze acquisite con interpretazioni di tipo statistico, indispensabili per l'analisi dei trend climatici, della periodicità dei fenomeni e degli eventuali fenomeni di lungo periodo indotti anche dalle eventuali modifiche delle strategie di utilizzazione delle risorse.

9.3 STUDI E MONITORAGGI DELLA QUALITA' DELLE ACQUE E DEGLI ECOSISTEMI ACQUATICI

Lo studio del reticolo idrografico della Provincia di Sondrio, se considerato nell'ambito delle conoscenze relative agli ecosistemi acquatici e alla qualità delle acque, risulta essere una grande opportunità ed una sfida.

L'opportunità è data dal fatto che la Provincia di Sondrio, più di ogni altra in Lombardia e con pochi eguali anche in ambito nazionale, vive tutti i contrasti di un ambiente acquatico ricco a livello ecosistemico ma estremamente fragile allo stesso tempo, sul cui territorio devono convivere necessità diverse e usi plurimi delle acque. Capire la struttura degli ecosistemi acquatici della Provincia di Sondrio e la loro interazione con l'azione dell'uomo nelle sue diverse forme vuol dire raggiungere un livello di comprensione di tali dinamiche tale da poter essere di aiuto per l'intero ambito nazionale.

L'analisi dei dati disponibili, nell'ambito dello studio condotto per l'elaborazione del PTCP, ha, infatti, mostrato da un lato come la qualità chimico-fisica delle acque in ambito provinciale sia piuttosto elevata, ma anche, d'altra parte, come le comunità biologiche presentino alterazioni tali da condurre alla definizione di uno stato ecologico complessivo decisamente inferiore. E' apparso evidente come tali scadimenti siano imputabili ad un concorso di cause tra cui risultano essere predominanti l'alterazione dei regimi idraulici (con magre spinte e interruzioni della continuità fluviale) e la diminuita disponibilità di habitat (a sua volta causata da modifiche sostanziali sia nei regimi idraulici che nella morfologia di alveo e sponde).

L'attuale grado di conoscenza complessivo, dunque, risulta non sempre adeguato e talvolta frammentario, con studi approfonditi effettuati da Enti Locali solo su aspetti specifici e su porzioni di territorio limitate e con una conoscenza generale dell'intero territorio che, invece, presenta lacune riguardo ad alcuni aspetti chiave (quali, ad esempio, la qualità delle comunità di macroinvertebrati e il grado di integrità idraulico-morfologica degli alvei).

In base al grado delle conoscenze complessive attuali, analizzate per la redazione del PTCP, è stato possibile definire ambiti di indagine che richiederebbero approfondimenti:

- a) Integrazione della rete di stazioni ARPA per il monitoraggio della qualità delle acque, con l'inserimento di nuovi siti di campionamento:
 - sul fiume Mera, a valle dell'abitato di Chiavenna e dello scarico dei principali impianti di depurazione;
 - sul torrente Liro, a monte della confluenza con il fiume Mera;
 - sul torrente Masino, prima della confluenza con l'Adda;
 - sul torrente Spoël.
- b) Identificazione dei tratti fluviali, a valle delle zone di fusione dei ghiacciai, in cui sono presenti ecosistemi di tipo kryal, e studio delle dinamiche funzionali delle comunità biologiche rinvenute.
- c) Applicazione dell'indice IFF 2007 al reticolo idrografico provinciale o, quanto meno, ai corsi d'acqua che non risultino già critici per altri motivi, al fine di individuarne il livello di funzionalità e di stabilire se la componente ambientale relativa alla struttura dell'ecotono ripario e all'integrità dell'alveo possano essere a loro volta elemento di

criticità. Il grado di conoscenza acquisito potrebbe permettere di definire ulteriori forme di tutela, diversificate per i corpi idrici ad alta valenza (protezione) o compromessi (riqualificazione e recupero).

Contemporaneamente o in sostituzione dell'applicazione del protocollo di monitoraggio IFF 2007, si potrebbe applicare ai medesimi corsi d'acqua il nuovo protocollo CARAVAGGIO relativo al rilevamento idromorfologico degli habitat fluviali, elaborato nel quadro della direttiva europea sulle acque 2000/60.

- d) Integrazione delle conoscenze relative alle comunità biologiche (macroinvertebrati e ittiofauna) delle principali tipologie fluviali della Provincia. In particolare, sarebbe opportuno analizzare la risposta delle comunità biologiche ai diversi fattori di stress presenti sul territorio e alle incidenze sinergiche di tali fattori nei punti in cui essi si sommano. A tale scopo, andranno individuati corsi d'acqua "di riferimento", in cui la pressione antropica è trascurabile, per le diverse tipologie morfologiche ed i diversi regimi idrologici naturali, al fine di caratterizzare le comunità biologiche integre e le loro interazioni con i diversi habitat disponibili. Successivamente, le comunità così descritte potranno essere confrontate con quelle presenti in corpi idrici degradati, al fine di comprendere l'influenza dei diversi fenomeni perturbativi sull'ecosistema. I dati rilevati potranno essere utilizzati per tarare modelli (es. PHABSIM) utili alla descrizione degli habitat fisici in diverse condizioni idrauliche; tali dati sono uno dei supporti più preziosi nell'ambito della pianificazione relativa all'uso delle acque.

BIBLIOGRAFIA

- Abebe A., Foerch G. (2006): Catcment Characteristics as Predictors of Base Flow Index (BFI) in Wabi Shebele River Basin, East Africa. Tropentag 2006, University of Bonn.
- ANPA (2000) I.F.F. - Indice di funzionalità fluviale, Maurizio Siligardi (ed), Agenzia Nazionale per la Protezione dell’Ambiente, Roma.
- APAT (2007) I.F.F. 2007 – Indice di Funzionalità Fluviale, Maurizio Siligardi (ed), Manuale APAT, Trento.
- Autorità di Bacino del Fiume Po (2001) Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI) – Allegato 1: Bilancio idrico per il sottobacino dell’Adda sopralacuale, Parma.
- Autorità di Bacino del Fiume Po. Studio per l’approfondimento del bilancio idrologico dei corpi idrici superficiali del bacino del Po ed individuazione di una rete strategica per il monitoraggio delle acque superficiali – Programma delle attività e Specifica tecnica delle attività, Parma.
- Autorità di Bacino Interregionale del fiume Magra. Piano Stralcio “Tutela dei corsi d’acqua interessati da derivazioni.
- Autorità di Bacino del Fiume Arno. Progetto di Piano di Bacino – Stralcio “Bilancio idrico”.
- Bender, E.A., Case, T.J., Gilpin, M.E. (1984). Perturbation experiments in community ecology: theory and practice. *Ecology*, 65 (1), 1-13.
- Brittain JE, Milner AM (2001) Ecology of Glacier-fed rivers: current status and concepts. *Freshwat. Biol.*, 46: 1571-1578.
- Casadei S. (1995): Analisi dell’indice del deflusso di base (BFI) di alcuni bacini dell’Italia centrale. *Idrotecnica*, n. 3, 1995.
- Civita M. “Idrogeologia Applicata e Ambientale: appendice B” Casa Editrice Ambrosiana, 2005
- Database Catasto Utenze Idriche (CUI) della Regione Lombardia
- Dati geoambientali delle comunità montane.
- Dewson, Z.S., James A.B.W., Death R.G. (2007) Invertebrate community responses to experimentally reduced discharge in small streams of different water quality. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 26 (4), 754-766.
- Direttiva quadro 2000/60 in materia di acque dell’Unione Europea;
- D.Lgs. 152/2006;

- Fusi E (1998) Ittiofauna e gestione della pesca in Provincia di Sondrio. Sondrio.
- Ghetti PF (1997) Indice Biotico Esteso (IBE) – Manuale di Applicazione. Provincia Autonoma di Trento, Trento.
- Lake, P.S. (2003). Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters. *Freshw. Biol.*, 48, 1161-1172.
- Maiolini B (2006) Riqualficazione versus Idroelettrico di Montagna. In: La Riqualficazione Fluviale in Italia, CIRF, Mazzanti Editori, Venezia.
- Manciola P., Martini P., Ubertini L. (1994): Significato del deflusso minimo vitale e la sua determinazione per un corso d'acqua dell'Italia centrale. *Idrotecnica*, n. 2, 1994.
- Massimo Civita. (2005) Idrogeologia applicata e ambientale. Casa editrice Ambrosiana
- McKay, S.F., King, A.J. (2006) Potential ecological effects of water extraction in small, unregulated streams. *River Res. Appl.*, 22, 1023-1037.
- Nardini A, Sansoni G (2006) Misurare l'obiettivo centrale della riqualficazione fluviale: FLEA. In: La Riqualficazione Fluviale in Italia, CIRF, Mazzanti Editori, Venezia.
- Petersen RC (1992) The RCE: a Riparian, Channel and Environmental inventory for small streams in the agricultural landscape. *Freshwat. Biol.*, 27: 295-306.
- Provincia Autonoma di Trento (2006) Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche (PGUAP) – Parte Sesta: Ambiti Fluviali. Trento.
- Provincia di Sondrio (2005). Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP). Sondrio.
- Provincia di Sondrio – Montana (2007). Progetto di riqualficazione dei corsi d'acqua: pianificazione dell'utilizzo delle risorse idriche con particolare riferimento agli impianti idroelettrici, Sondrio.
- Provincia di Sondrio (2007) Rapporto sullo Stato dell'Ambiente in Provincia di Sondrio, anni 2005-2006. Sondrio.
- Provincia di Sondrio (2001) Un viaggio lungo i corsi d'acqua della Provincia di Sondrio. Valutazione della qualità dei corridoi fluviali mediante applicazione dell'indice RCE-2. Sondrio.
- Provincia di Sondrio (in corso di elaborazione) Piano energetico della Provincia di Sondrio – Inquadramento del sistema energetico provinciale.
- Provincia di Sondrio. Servizio idrico integrato – Relazione tecnico – economica.
- Provincia di Sondrio – Regione Lombardia (2004-2006) Definizione dell'impatto dei bacini artificiali sull'ittiofauna e valutazione di misure di protezione.

- Regione Lombardia (2008). Direttive per l'adeguamento delle derivazioni al rilascio del Deflusso Minimo Vitale, Milano.
- Regione Lombardia (2006) Programma di Tutela e Uso delle Acque – Allegato Tecnico n.13. Milano.
- Regione Lombardia (1999) Quaderni Regionali di Ricerca n. 33 – Disponibilità ed ottimizzazione nell'uso della risorsa idrica.
- Regione Valle d'Aosta. Piano di Tutela e Uso delle Acque.
- Siligardi M, Maiolini B (1993) L'inventario delle caratteristiche ambientali dei corsi d'acqua alpini: guida all'uso della scheda RCE-2. Biol. Amb., VII(30): 18-24.
- Szilagyi J., Harvey F. E., Ayers J. F. (2003): Regional Estimation of Base Recharge to Ground Water Using Water Balance and a Base-Flow Index. Ground Water, July – August 2003.
- Tarme R. E. (2003): A Global Perspective on Environmental Flow Assesment: Emerging Trends in the Development and Application of Environmental Flow Methodologies for Rivers. River Research and Application, 19, 2003.
- Ubertini et al., Calcolo e regionalizzazione dell'indice di deflusso di base; Autorità di Bacino del Fiume Arno; luglio 2004.