



Garda Chiese
consorzio di bonifica

Supporto tecnologico alle attività di redazione del piano di classifica

**Stima dell'indice di produzione di deflusso per il comprensorio del
Consorzio di bonifica Garda Chiese secondo le Linee Guida di Regione
Lombardia D.G.R. 17/4/2015 - n. X/3420**

5 ottobre 2024
Rapporto Digital Drop



Supporto tecnologico alle attività di redazione del piano di classifica

Stima dell'indice di produzione di deflusso per il comprensorio del Consorzio di bonifica Garda Chiese secondo le Linee Guida di Regione Lombardia
D.G.R. 17/4/2015 - n. X/3420

Sommario

1	PREMESSA	2
2	DATI UTILIZZATI PER LE ELABORAZIONI	2
3	ATTRIBUZIONE DEL VALORE DI CURVE NUMBER	2
3.1	DETERMINAZIONE DELLE CLASSI DI USO DEL SUOLO	2
3.2	GRUPPO IDROLOGICO	3
3.3	CURVE NUMBER	3
3.4	CORREZIONI E ADEGUAMENTI DEI VALORI DI CN	4
	CORREZIONE PER LA PENDENZA	4
	CORREZIONE PER LA SOGGIACENZA DI FALDA	6
	ADEGUAMENTO DEL VALORE DI CN PER LE COLTURE PROTETTE	6
3.5	MAPPA DEFINITIVA DEI VALORI DI CN	7
4	CALCOLO DELLA PRODUZIONE DI DEFLUSSO	8
4.1	DETERMINAZIONE DELLA PIOGGIA DI PROGETTO	8
4.2	DETERMINAZIONE DEL TEMPO CARATTERISTICO DEL BACINO	9
4.3	PERDITE IDROLOGICHE	9
4.4	INDICE DI COMPORTAMENTO IDRAULICO	9
5	ALLEGATI	12

1 Premessa

La presente relazione fa riferimento all'attività "Fornitura dei valori di Curve Number per l'intero territorio Comprensoriale e stima dell'indice di produzione di deflusso" del Consorzio di bonifica Garda Chiese, svolta nell'ambito dell'incarico per il supporto tecnologico alle attività di redazione del Piano di classificazione degli immobili ricadenti nel comprensorio consortile ai sensi art. 90 l.r.l n. 31/2008 e s.m.i.. Codice CIG ZA23A96240 Capitolo 131501/RP.

In particolare, la relazione illustra la metodologia adottata per la determinazione dei valori di curve number (CN) nelle aree incluse nel perimetro di contribuenza del comprensorio di bonifica e, in aggiunta, il calcolo dell'indice di produzione di deflusso secondo quanto previsto dalle Linee Guida di Regione Lombardia approvate con D.G.R. 17/4/2015 - n. X/3420.

2 Dati utilizzati per le elaborazioni

I dati utilizzati per le successive elaborazioni sono stati forniti dal Consorzio o sono stati ottenuti dalle fonti regionali come meglio indicato nell'elenco seguente:

- ❖ Perimetro di contribuenza fornito dal Consorzio – dato in formato .shp;
- ❖ Suddivisione del territorio di contribuenza in particelle catastali fornito dal Consorzio – dato in formato .cxf.
- ❖ Carta di destinazione e uso del suolo agricolo forestale del 2021, DUSAF 7.0, per la valutazione dell'uso del suolo, reperito sul Geoportale Lombardia [dato in formato vettoriale ottenuto da fotointerpretazione delle foto aeree Agea¹];
- ❖ Pedologica ERSAF 1:50k rielaborata² [dato in formato raster con risoluzione al suolo 250mx250m];
- ❖ Mappa dei Sottoambiti Geomorfologici (anno 2015) reperita sul Geoportale della Lombardia [dato vettoriale scala 1:10000]
- ❖ Modello digitale del terreno (DTM) reperito sul Geoportale Lombardia [dato in formato raster con risoluzione al suolo 5m x 5m];
- ❖ Isopieze reperite dal Piano di Tutela delle Acque (PTUA 2014) [dato in formato vettoriale];
- ❖ Parametri delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica 1-24 ore (LSPP) (a_1 , n , α , κ , ϵ) reperite sul sito di ARPA Lombardia [dato in formato raster con risoluzione al suolo 1.5km x 1.5km].

3 Attribuzione del valore di Curve Number

3.1 Determinazione delle classi di uso del suolo

A partire dalle informazioni riportate nel DUSAF, si sono dapprima individuati tutti gli usi del suolo presenti sul comprensorio di bonifica e valutate le percentuali di ciascuna classe sulla superficie del perimetro di contribuenza. In Figura 1 si mostrano le tipologie di usi del suolo presenti sul territorio comprensoriale e per ciascuno di essi la percentuale di superficie rispetto all'area totale di contribuenza.

Gli usi del suolo sono stati poi accorpati in quattro macro-classi omogenee (elencate nel seguito) dove ciascuna di esse ricopre almeno una superficie pari al 10% dell'area di contribuenza.

- *Seminativi* (Livello1³ = 2 AND Livello 2 = 1) (sono inclusi in questa classe le superfici coltivate a mais a ciclo corto, mais a ciclo lungo, le orticole etc.). Totale superficie rispetto all'area di contribuenza 34%.
- *Colture permanenti* (Livello1 = 2 AND Livello2 = 2); (sono inclusi in questa classe le superfici coltivate a vite, i frutteti etc.). Totale superficie rispetto all'area di contribuenza 15%.

¹ Per maggiori informazioni si rimanda al link -

<https://www.regione.lombardia.it/wps/portal/istituzionale/HP/DettaglioServizio/servizi-e-informazioni/Enti-e-Operatori/Territorio/sistema-informativo-territoriale-sit/uso-suolo-dusaf/uso-suolo-dusaf>

² La rielaborazione è stata condotta da UniMi nell'ambito dello sviluppo del modello IdrAgra (<https://idragra.unimi.it/>) al fine di ottenere il gruppo idrologico di ciascuna unità a partire dalle informazioni contenute nella carta pedologica relative alle unità cartografiche, alla profondità dei suoli, alla capacità drenaggio, alla pendenza media etc. secondo le varie metodologie contenute nei manuali redatti dall'United State Department of Agriculture (USDA).

³ Livello1, 2 etc. rappresentano i codici dei vari livelli d'uso del suolo riportati nello .shp DUSAF di Regione Lombardia.

- *Prati e foraggiere* (Livello1 = 2 AND Livello2 = 3). Totale superficie rispetto all'area di contribuenza 22%.
- *Aree boscate* (Livello1=3). Totale superficie rispetto all'area di contribuenza 11%.
- *Aree urbane* (Livello1=1). Totale superficie rispetto all'area di contribuenza 18%.

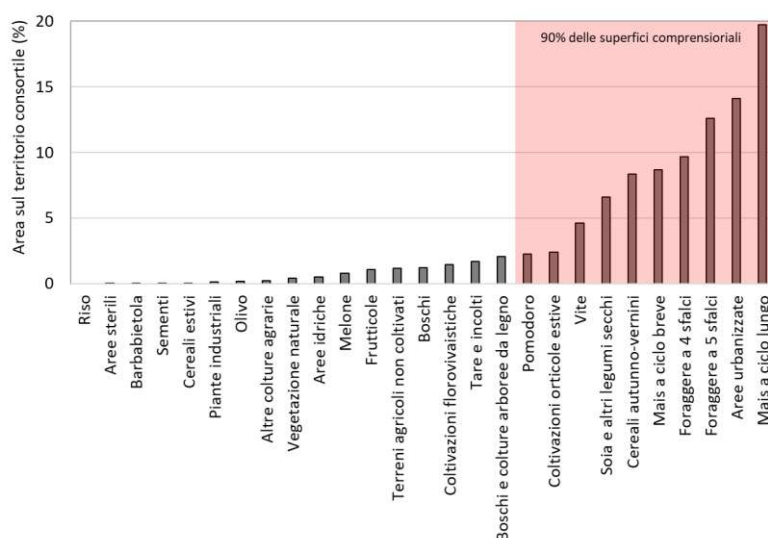


FIGURA 1. USI DEL SUOLO PRESENTI SUL COMPENSORIO REGIONALE E PERCENTUALE DI CIASCUN USO RISPETTO ALLA SUPERFICIE DI CONTRIBUZIONE. IN ROSSO SI EVIDENZIANO GLI USI DEL SUOLO LE CUI PERCENTUALI, SE SOMMATE, RAPPRESENTANO CIRCA IL 90% DELL'INTERA AREA DI CONTRIBUZIONE.

3.2 Gruppo Idrologico

La mappa dei gruppi idrologici⁴ (derivata in primis dalla pedologica ERSAF) è stata successivamente rielaborata tenendo in considerazione i Sottoabitati Geomorfologici e riclassificata in base alle considerazioni sull'effettiva capacità di drenaggio dei suoli descritte nell'elaborato R1 del Piano Compensoriale di Bonifica, Irrigazione e Tutela del Territorio Rurale del 15 Marzo 2018 e dalla conoscenza diretta del comprensorio da parte dei tecnici del consorzio.

La nuova classificazione ha incluso nel gruppo idrologico A anche le aree del comprensorio dell'*alta pianura*, dei *cordoni morenici intermedi*, dei *cordoni morenici recenti*, dei *fondovalli montani e intermorenici*, delle *piane glaciali e retroglaciali*, delle *piane intermoreniche* e infine dei *terrazzi fluviali*.

Con la nuova suddivisione, il Gruppo A ricopre una superficie del 33%, il gruppo B del 14%, il gruppo C del 37% e infine il gruppo D del 16%. La Figura 2 riporta la suddivisione della superficie comprensoriale di contribuenza tra i diversi gruppi idrologici. E' importante sottolineare che, in figura, la porzione di comprensorio appartenente al gruppo D, include anche le aree in cui vi è una soggiacenza ridotta della falda, come verrà successivamente specificato nel seguito.

3.3 Curve Number

Il valore di CN per ciascuna combinazione uso del suolo-gruppo idrologico è stato ricavato dalle informazioni contenute nel manuale di idrologia tecnica e di fondamenti di costruzioni idrauliche, rispettivamente Moisello (1994)⁵ e Becciu e Paoletti (2010)⁶. I valori di CN riportati in Tabella 1 si riferiscono alla condizione intermedia di umidità del suolo antecedente l'evento meteorico (ovvero pari a II).

⁴ Per la definizione di gruppo idrologico si rimanda ai manuali tecnici o testi specialistici come ad esempio Moisello U. (2014). 'Idrologia Tecnica'. Hoepli.

⁵ Moisello U. (2014). 'Idrologia Tecnica'. Hoepli.

⁶ Becciu G., Paoletti A. (2010). 'Fondamenti di costruzioni idrauliche'. UTET.

		Gruppo Idrologico			
		A	B	C	D
Uso Suolo	Seminativi	62	71	78	81
	Culture permanenti	51	67	76	80
	Prati e foraggi	30	58	71	78
	Aree Boscate	45	66	77	83

TABELLA 1. VALORI DI CNII PER CIASCUNA COMBINAZIONE USO DEL SUOLO-GRUPPO IDROLOGICO PRESENTI SUL TERRITORIO COMPENSORIALE

Non conoscendo i dettagli urbanistici e la natura delle superfici antropizzate, si è scelto di adottare cautelativamente un valore medio di CNII pari a 95 per le superfici urbanizzate.

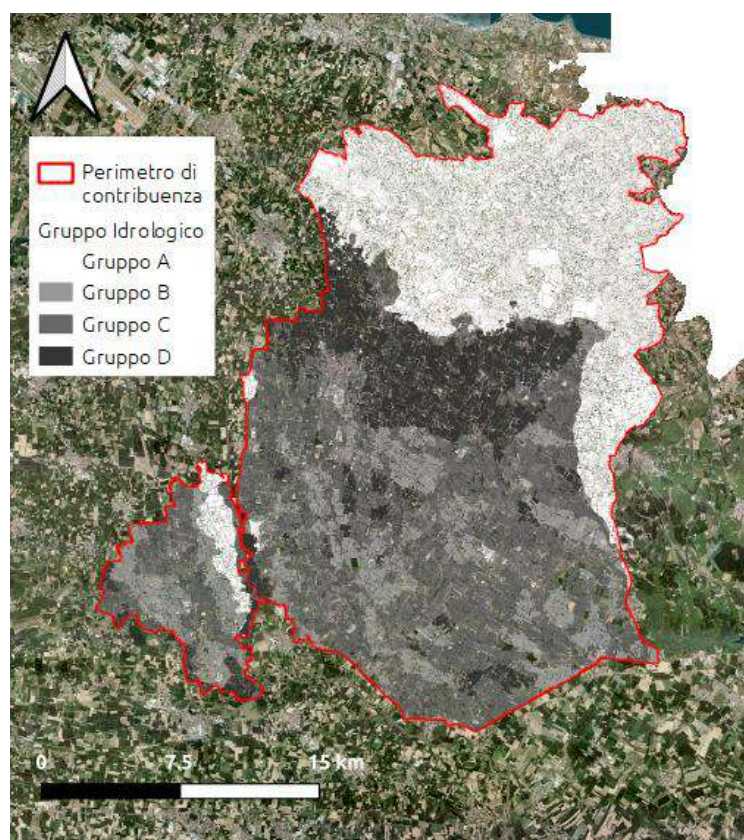


FIGURA 2. GRUPPO IDROLOGICO (GI) SULLA SUPERFICIE COMPENSORIALE DI CONTRIBUENZA.

3.4 Correzioni e adeguamenti dei valori di CN

Correzione per la pendenza

La parte settentrionale del comprensorio di bonifica è caratterizzata da una superficie collinare, dove la pendenza dei suoli, a parità delle loro condizioni idrologiche, può favorire la produzione di deflusso. Pertanto, il valore di CNII è stato corretto nelle aree con pendenza superiore al 5% seguendo l'approccio proposto da Sharpley and Williams (1990)⁷. La stessa correzione è stata applicata anche alle aree con pendenza inferiore il 5% come proposto dal manuale del software SWAT⁸ (The Soil & Water Assessment Tool - uno dei più diffusi software per la modellazione quali-quantitativa dei deflussi prodotti dai bacini idrologici). La correzione contribuisce ad

⁷ Sharpley, A.N., Williams, J.R., 1990. EPIC-Erosion/Productivity Impact Calculator. I: Model Documentation. II: User Manual. Technical Bulletin-United States Department of Agriculture, p. 1768.

⁸ <https://swat.tamu.edu/media/99192/swat2009-theory.pdf>

aumentare/diminuire il valore di CNII in modo proporzionale alla pendenza dei suoli secondo la relazione descritta dall'Eq. 1:

$$CNII_{slope} = \frac{CNIII - CNII}{3} \cdot (1 - 2e^{-13.86 \cdot Slp}) + CNII \quad \text{Eq 1}$$

Dove $CNII_{slope}(-)$ rappresenta il valore di CNII corretto per la pendenza, $CNIII(-)$ è il valore di CN per la condizione antecedente di umidità (AMC) di tipo III determinata dall'Eq. 2, e infine $Slp(-)$ rappresenta la pendenza della superficie del terreno.

$$CNIII = \frac{23 \cdot CNII}{10 + 0.13 \cdot CNII} \quad \text{Eq 2}$$

Anche le perdite iniziali (I_a), tradizionalmente calcolate con un valore di λ pari al 20% della massima capacità di ritenzione (S) dei suoli, sono state corrette in virtù della pendenza con una funzione continua che decresce all'aumentare della pendenza stessa secondo la relazione descritta dall'Eq. 3, proposta da Lal et al. (2017)⁹. Per pendenze inferiori al 5% si è assunto un valore di λ pari al 20% di S .

$$\lambda = 0.2e^{-45.54(Slp-0.05)} \quad \text{Eq 3}$$

Le aree aventi una pendenza maggiore al 5% sono riportate in Figura 3 e corrispondono ad un 13% circa della superficie di contribuenza.

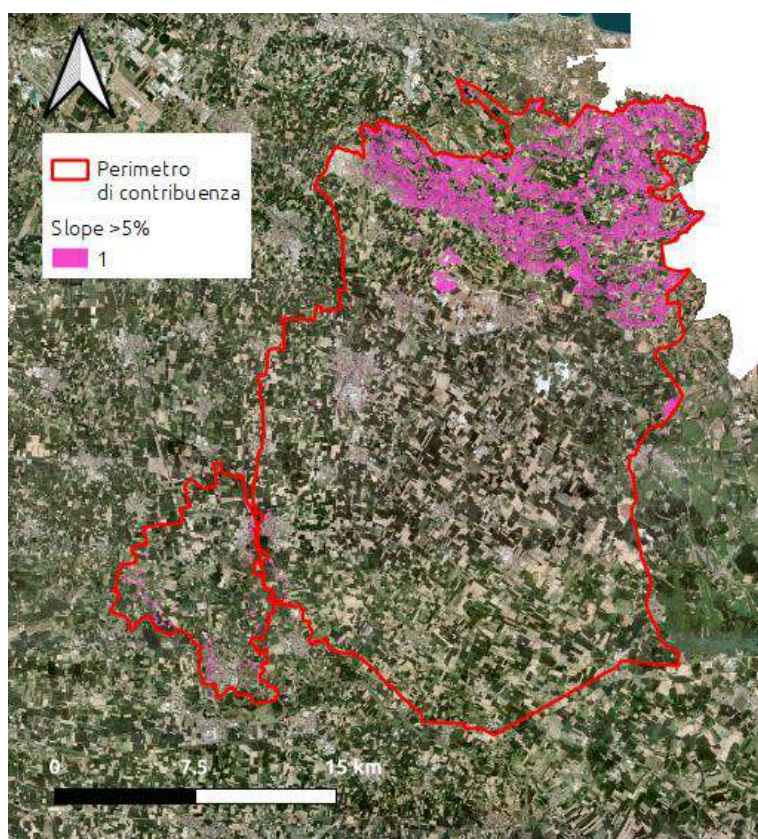


FIGURA 3. IN VIOLA LE AREE DEL COMPENSARIO AVENTI UNA PENDENZA MAGGIORE DEL 5%

⁹ Lal, M., Mishra, S.K., Pandey, A., Pandey, R.P., Meena, P.K., Chaudhary, A., Kumar, Y., 2017. Evaluation of the Soil Conservation Service curve number methodology using data from agricultural plots. *Hydrogeo J* 25 (1), 151 -167.

Correzione per la soggiacenza di falda

Il valore di CNII è stato ulteriormente corretto in funzione delle aree aventi soggiacenza ridotta come suggerito dal manuale Hydrology National Engineering Handbook (parte 630) redatto dall'United State Department of Agriculture (USDA) nel 1995. La correzione prevede che laddove insiste una soggiacenza di falda inferiore a 60cm venga attribuito d'ufficio un valore di CNII corrispondente all'uso del suolo reale ma al gruppo idrologico D.

Il calcolo della soggiacenza di falda è stato condotto sottraendo alle quote del territorio comprensoriale ricavate dal modello digitale del terreno DTM i valori della piezometria PTUA mediata nella situazione pre e post stagione irrigua. Le aree aventi soggiacenza ridotta sono riportate in Figura 4 e corrispondono a circa il 12% della superficie comprensoriale.

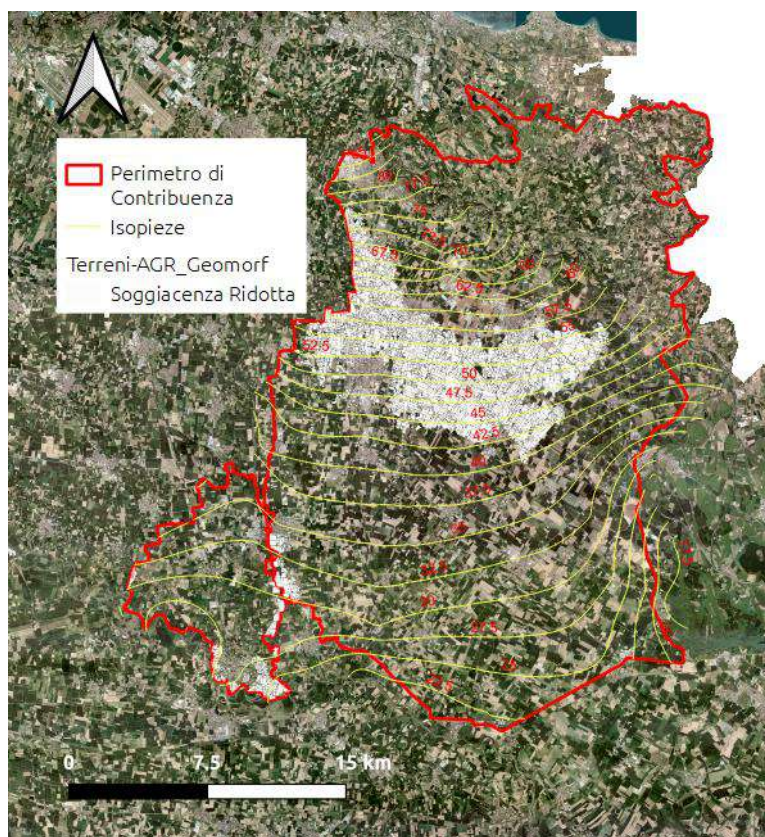


FIGURA 4. AREE AVENTI SOGGIACENZA RIDOTTA (IN BIANCO). IN EVIDENZA LE ISOPIEZE CON LE RISPETTIVE QUOTE SUL LIVELLO DEL MARE.

Adeguamento del valore di CN per le colture protette

Valutato che sul territorio comprensoriale insite un 2% di superfici coperte da serre per la produzione di colture orticole e florovivaistiche (non sempre dotate di un opportuni sistemi di accumulo e/o drenaggio delle acque piovane), si è deciso di attribuire un valore di CN a queste aree (individuate dall'unione dei codici 21132 (colture orticole protette) e 21142 (colture floro-vivaistiche protette) dello strato informativo del DUSAF) assimilabile a quello dei fabbricati rurali, essendo tali strutture costituite da un nastro impermeabile centrale e aree permeabili ai lati che in qualche misura consentono il drenaggio delle acque di pioggia.

In Figura 5 si mostrano le aree soggette alla presenza di serre per la produzione di colture orticole e florovivaistiche sul territorio comprensoriale.



FIGURA 5. DISTRIBUZIONE DELLE COLTURE PROTETTE SUL TERRITORIO COMPENSORIALE (IN VERDE) E VERIFICA DELL'EFFETTIVA PRESENZA DI COPERTURE DA CONFRONTO CON ORTOFOTO 2021 DI REGIONE LOMBARDIA.

3.5 Mappa definitiva dei valori di CN

La Figura 6 riporta la mappa definitiva dei valori di CNII sull'intero comprensorio di bonifica. Il valore medio di CNII sul comprensorio è pari a circa 66.

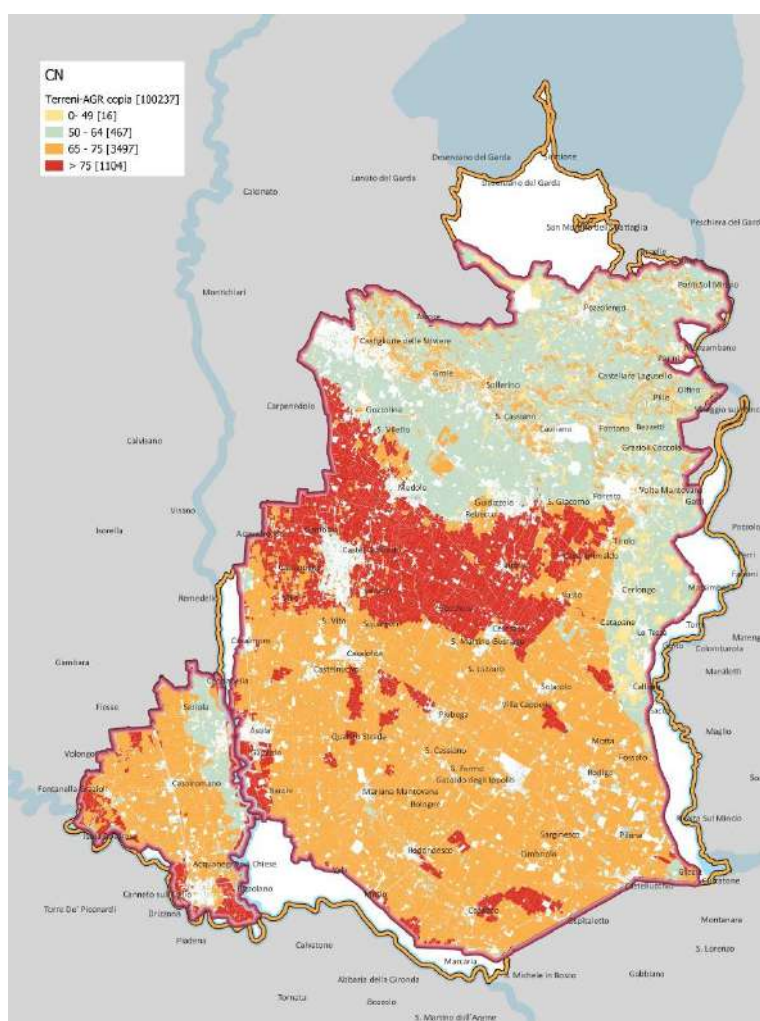


FIGURA 6. MAPPA DEFINITIVA DEI VALORI DI CNII DEI TERRITORI AGRICOLI.

4 Calcolo della produzione di deflusso

Per il calcolo della produzione di deflusso si è scelto di utilizzare il metodo del Curve Number (CN) elaborato dal Soil Conservation Service nel 1972. Si tratta di un metodo sostanzialmente empirico, che tuttavia ha il pregio di tener conto delle caratteristiche fisiografiche del bacino (caratteristiche ed uso del suolo, pendenze, ecc.), di poter essere utilizzato anche in forma distribuita e essere rigorosamente documentato e ampiamente utilizzato.

Il metodo CN si basa sulla suddivisione dell'afflusso meteorico (misurato o di progetto) in diverse componenti come riportato nello schema di Figura 7, ovvero, la quota parte inizialmente intercettata o accumulata (I_a), la quota parte che si infila nel suolo (F) e infine quella che genera il deflusso superficiale altresì detta pioggia efficace (P_e).

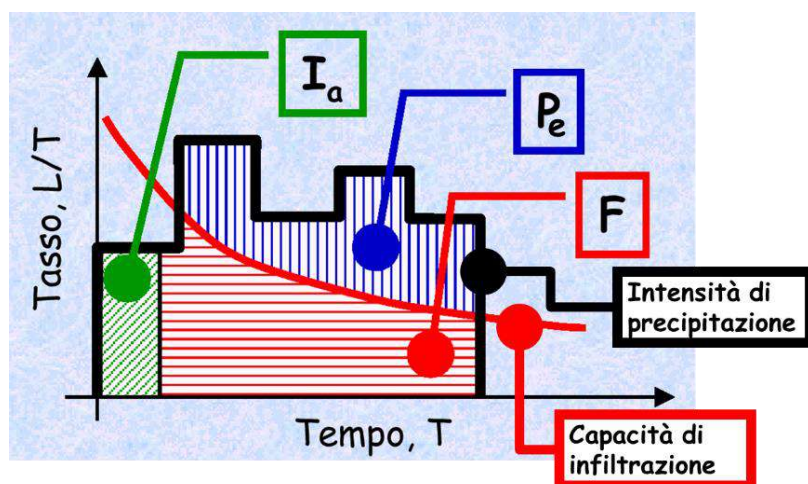


FIGURA 7: DISTRIBUZIONE DEI VOLUMI DI UN EVENTO DI PIOGGIA SECONDO IL METODO CN.

Il metodo del CN consente quindi di calcolare la pioggia efficace come:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \text{Eq 3}$$

Dove S è il volume specifico di saturazione che può essere stimato sulla base del valore di CN mediante la formula:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad \text{Eq 4}$$

La portata di deflusso (Q in l/s) sarà quindi data dal rapporto tra la pioggia efficace (P_e) e il tempo caratteristico del bacino (t in ore), moltiplicato per la superficie drenante (A in km²) secondo la seguente relazione:

$$Q = \frac{1}{3.6} \frac{P_e}{t} A \quad \text{Eq 5}$$

La portata specifica per unità di superficie (coefficiente udometrico), è ottenuta a partire dal rapporto di Q/A . Per il calcolo della produzione di deflusso specifica l'area è stata assunta pari ad un ettaro. Ulteriori dettagli sull'implementazione del metodo si possono trovare sui manuali specialistici già citati nei precedenti paragrafi.

4.1 Determinazione della pioggia di progetto

Si è scelto di adottare per il calcolo della produzione di deflusso un tempo di ritorno di progetto pari a 10 anni, coerente con quello per la progettazione delle reti di drenaggio urbano.

Per ogni particella catastale si è calcolato (i) il valore medio dei parametri della LSPP 1-24 ore (a_1 , n , α , ε , κ), (ii) il quantile regolarizzato w_T (Eq. 6) e infine (iii) l'altezza di precipitazione di progetto (h_T) per assegnata durata (d) secondo la formula analitica proposta da ARPA Lombardia ('Calcolo della linea segnalatrice LSPP') (Eq. 7).

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \cdot \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\} \quad \text{Eq 6}$$

$$h_T = a_1 \cdot w_T \cdot d^n \quad \text{Eq 7}$$

Il volume di pioggia ricavato dalla LSPP è stato distribuito uniformemente nel tempo, secondo le ipotesi del metodo di calcolo della produzione di deflusso.

4.2 Determinazione del tempo caratteristico del bacino

In assenza di specifiche informazioni sulle geometrie e sui reali percorsi di deflusso dei singoli sottobacini, si è scelto di considerare un tempo critico della precipitazione pari a 24 ore per i terreni agricoli e 1 ora per quelli urbanizzati. Questi valori risultano altresì essere coerenti con quelli adottati nei piani di classifica degli immobili di comprensori limitrofi all'area di studio¹⁰.

4.3 Perdite idrologiche

Il calcolo delle perdite idrologiche è stato condotto attraverso il metodo proposto dal Soil Conservation Service (SCS-CN) dell'United State Department of Agriculture¹¹ al quale si rimanda per ulteriori dettagli sulla sua implementazione. Il valore delle perdite iniziali (I_a) è stato assunto pari al 20% della massima capacità di ritenzione nelle aree rurali e pari al 5% nelle aree urbane.

4.4 Indice di comportamento idraulico

Per la valutazione dell'indice di comportamento idraulico per la stima del beneficio di scolo (come da linee guida di Regione Lombardia approvate con D.G.R. 17/4/2015 - n. X/3420), si è ritenuto opportuno procedere distinguendo in primo luogo i terreni dalle altre tipologie di immobili.

In Figura 8 si mostra la portata specifica dei terreni del comprensorio suddivisa in un numero idoneo di classi atte a rappresentare in modo esaustivo e non eccessivo la variabilità di produzioni del deflusso. Nello specifico la suddivisione in classi è stata da 0 a 1.5, da 1.5 a 2.5, da 2.5 a 4.3 e infine da 4.3 a 7 l/s/ha. L'indice di produzione di deflusso è stato calcolato come rapporto tra il valore modale della portata specifica della classe i -esima di produzione di deflusso e la portata specifica di riferimento. Si è assunta come portata specifica di riferimento il valore modale delle portate specifiche dei terreni (ovvero 3.25 l/s/ha). La Figura 9 mostra l'indice di produzione di deflusso dei terreni nelle quattro macro-classi.

La portata specifica per le aree urbanizzate (ovvero con CNII pari a 95) risulta pari a circa 70 l/s/ha, che è pari a circa 28 volte la portata specifica media dei terreni (quest'ultima determinata a partire dal valore di CNII medio pari a 66).

¹⁰ Esempio: Piano di classificazione degli immobili delle Terre dei Gonzaga (anno 2017).

¹¹ Mishra, S. K., Singh, V. P., Mishra, S. K., & Singh, V. P. (2003). SCS-CN Method. Soil conservation service curve number (SCS-CN) methodology, 84-146.

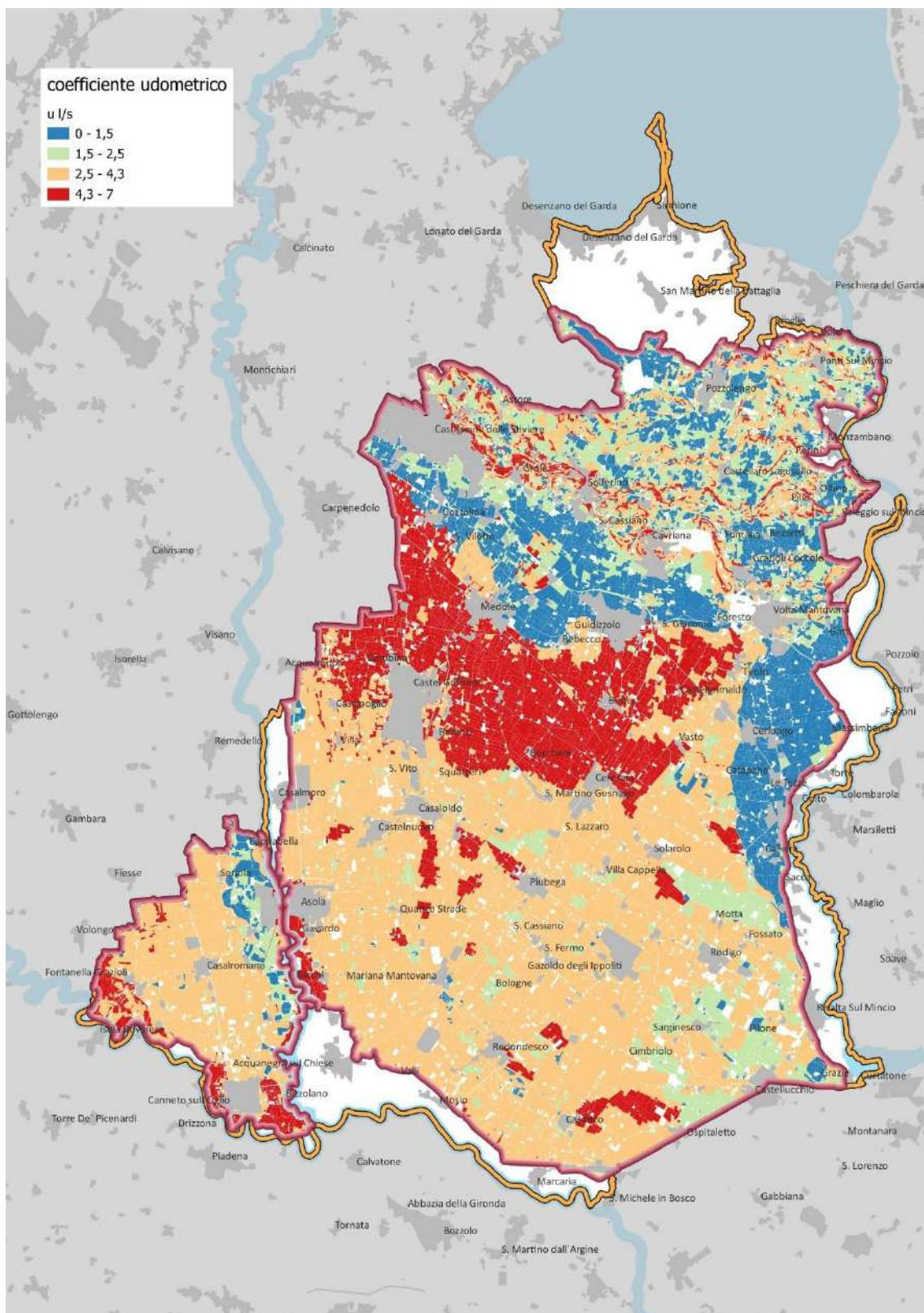


FIGURA 8. PORTATA SPECIFICA DEI TERRENI AGRICOLI DEL COMPRESORIO OGGETTO DI STUDIO.

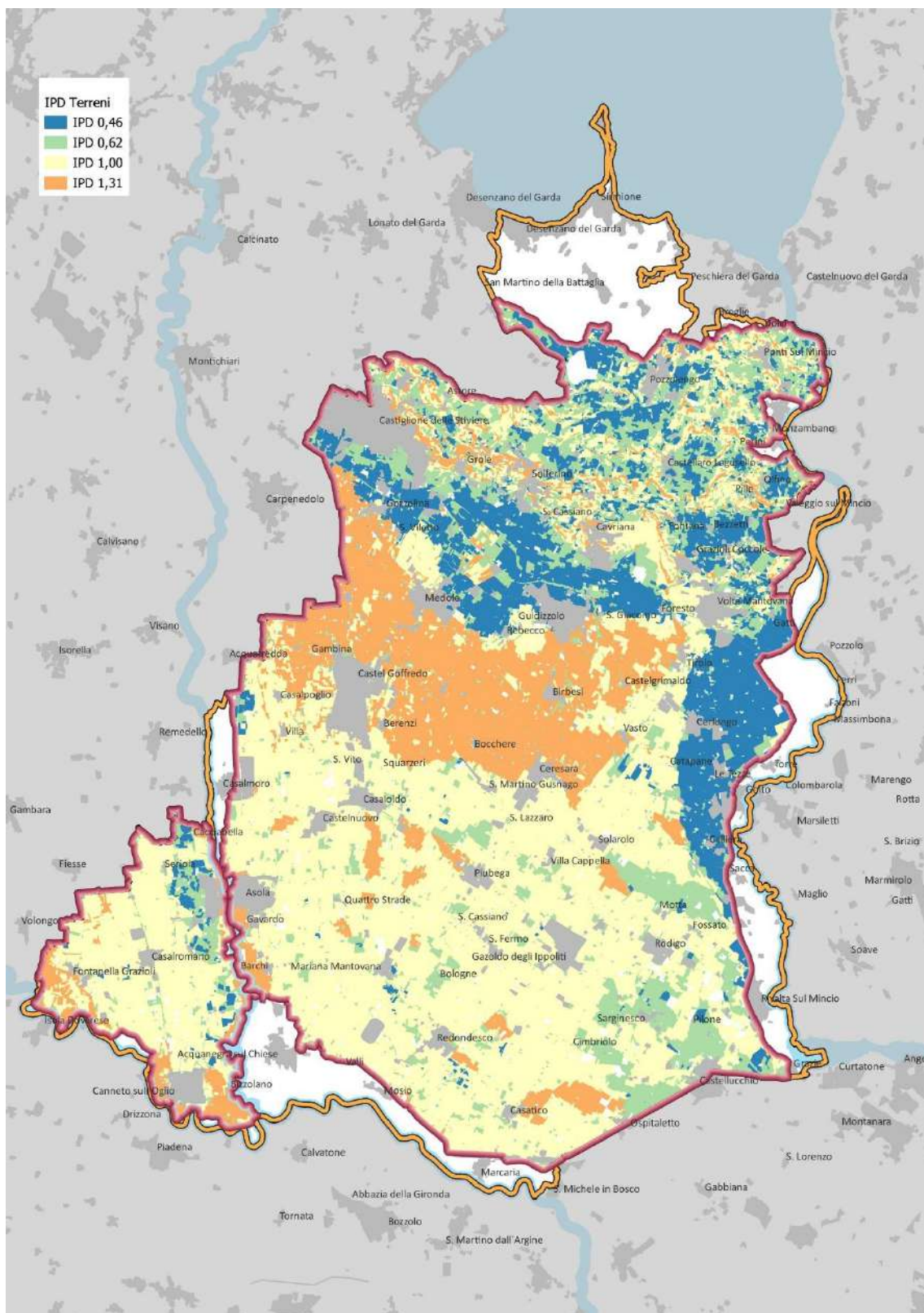


FIGURA 9. INDICE DI PRODUZIONE DI DEFLUSSO (IPD) DEI TERRENI DEL COMPENSORIO.

5 Allegati

In allegato il file vettoriale delle particelle di contribuenza con le informazioni riportate nella presente relazione e sinteticamente elencate nel seguito:

ID, fid, Codice_com, Foglio, Mappale sono informazioni contenute nello shp originario delle particelle catastali. Se NULL allora il dato non era presente nello shp originario.

Serra: Booleano - Se particella ricade nella definizione uso suolo da DUSAF2018 con codici 21132 (colture orticole protette) e 21142 (colture floro-vivaistiche protette) 1 altrimenti 0.

Area: Area particella catastale in [m²]

DTM: Quota media particella catastale da DTM 5x5m [m slm]

Piezo: quota piezometrica media per singola particella catastale [m slm].

Soggiacenz: Differenza DTM-Piezo– distanza della falda da PC - [m]

SoggRidotta: Booleano – se Soggiacenza<0.6 m allora 1, altrimenti 0 –

Slope: Pendenza media della particella [m/m]

SlopeAlta: Booleano – se Slope>5% allora 1, altrimenti 0 –

a1_mean, n_mean, alfa_mena, eps_mean, kap_mean: Parametri della LSPP

GI: Gruppo Idrologico (1-A, 2-B, 3-C, 4-D)

DUSAF: Codice DUSAF2018 liv 5

CNII: Valore di CNII da Tabella 1.

Qspec: Portata specifica (l/s/ha)

Indice: Indice di comportamento idraulico