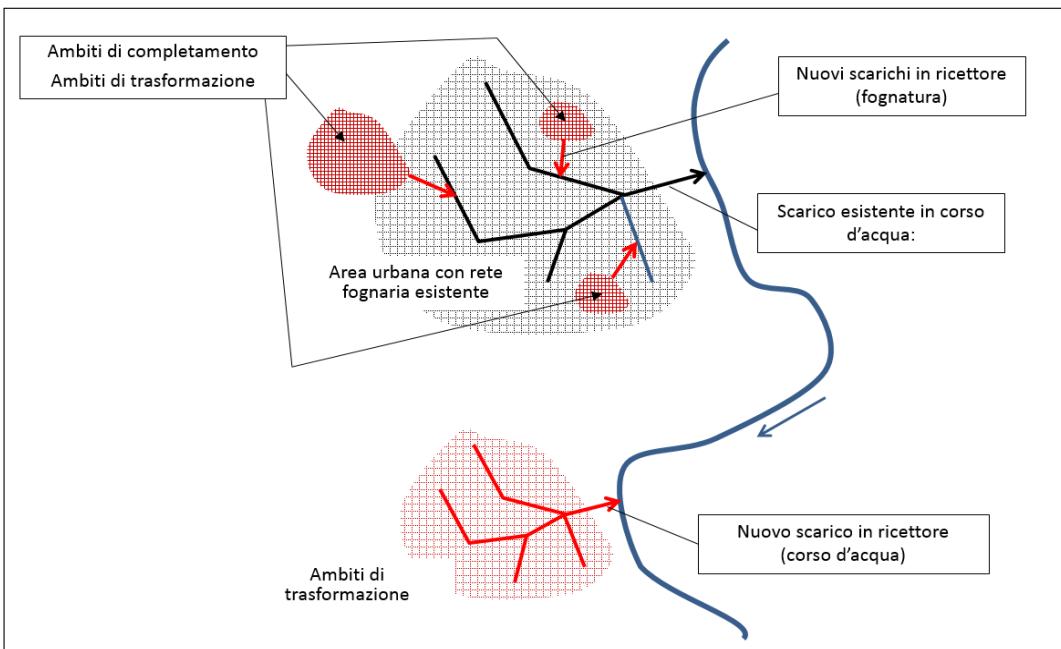
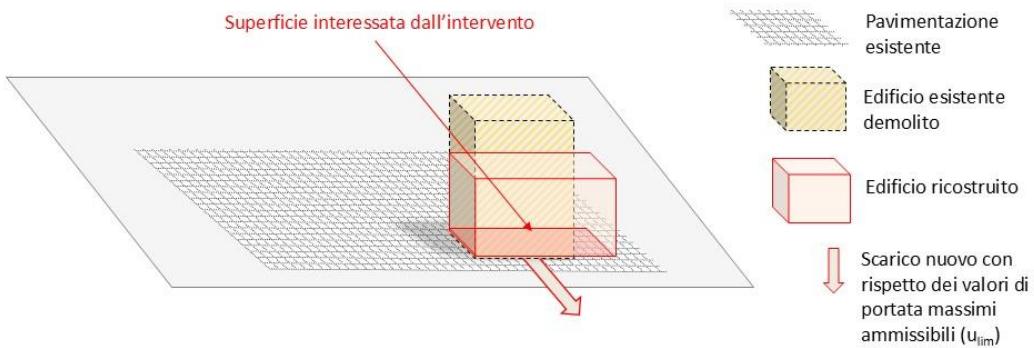


Allegato A - Schemi esemplificativi, non esaustivi, degli interventi ai quali applicare o meno le misure di invarianza idraulica e idrologica

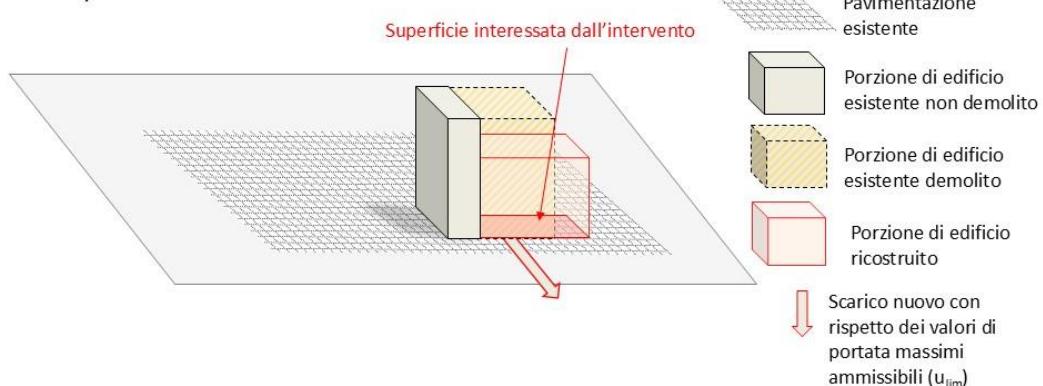


1. Interventi di **ristrutturazione edilizia** [articolo 3, comma 1, lettera d) del d.p.r. 380/2001] se consistono nella **demolizione totale**, almeno fino alla quota più bassa del piano campagna posto in aderenza all'edificio, e ricostruzione con aumento dell'indice di copertura preesistente.



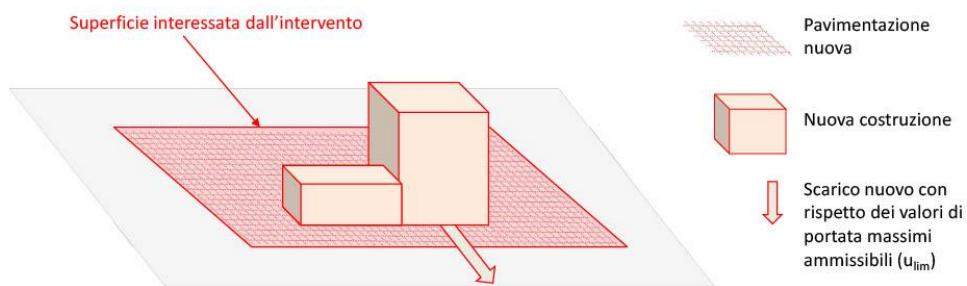
1. Sono richieste misure di invarianza idraulica o idrologica calcolate per la superficie interessata dall'intervento
2. La nuova portata di scarico è vincolata al limite massimo ammissibile da regolamento

2. Interventi di **ristrutturazione edilizia** [articolo 3, comma 1, lettera d) del d.p.r. 380/2001] se consistono nella **demolizione parziale**, a condizione che tale demolizione sia maggiore del 70% della superficie coperta della costruzione esistente, almeno fino alla quota più bassa del piano campagna posto in aderenza all'edificio, e ricostruzione con aumento dell'indice di copertura preesistente.



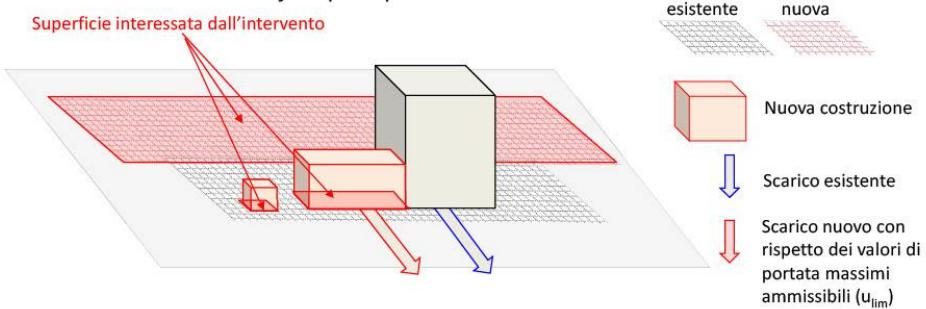
1. Sono richieste misure di invarianza idraulica o idrologica calcolate per la superficie interessata dall'intervento
2. La nuova portata di scarico è vincolata al limite massimo ammissibile da regolamento

3. Interventi di **nuova costruzione** [articolo 3, comma 1, lettera e), del d.p.r. 380/2001] consistenti nella **costruzione di manufatti edilizi fuori terra o interrati**.



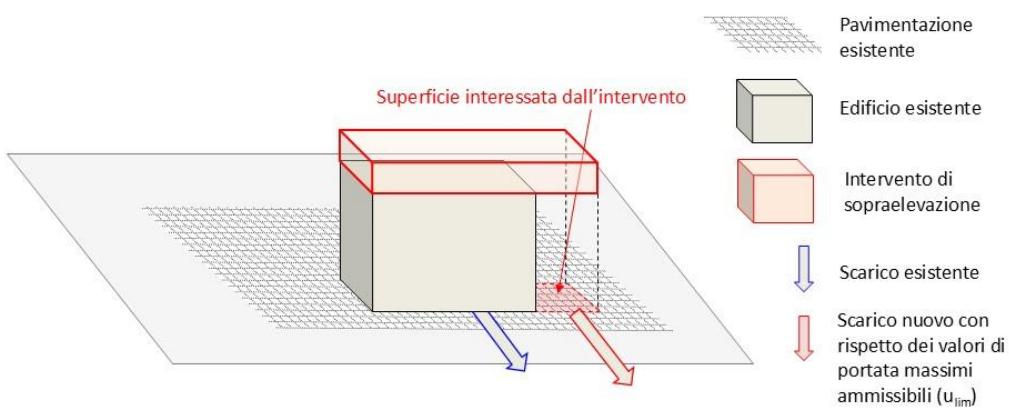
1. Sono richieste misure di invarianza idraulica o idrologica calcolate per la superficie interessata dall'intervento
2. La portata di scarico è vincolata al limite massimo ammissibile da regolamento

- 4.
- **Interventi di nuova costruzione consistenti in ampliamenti [articolo 3, comma 1, lettera e), del d.p.r. 380/2001]**
 - **Realizzazione di opere di pavimentazione e di finitura di spazi esterni [articolo 6, comma 1, lettera e-ter), del d.p.r. 380/2001]**
 - **Realizzazione di parcheggi, aree di sosta, piazzali e piazze**
 - **Realizzazione di aree verdi munite di sistemi di raccolta e collettamento delle acque e di aree verdi sovrapposte a nuove solette comunque costituite**
 - **Interventi pertinenziali che comportino la realizzazione di un volume inferiore al 20% del volume dell'edificio principale**



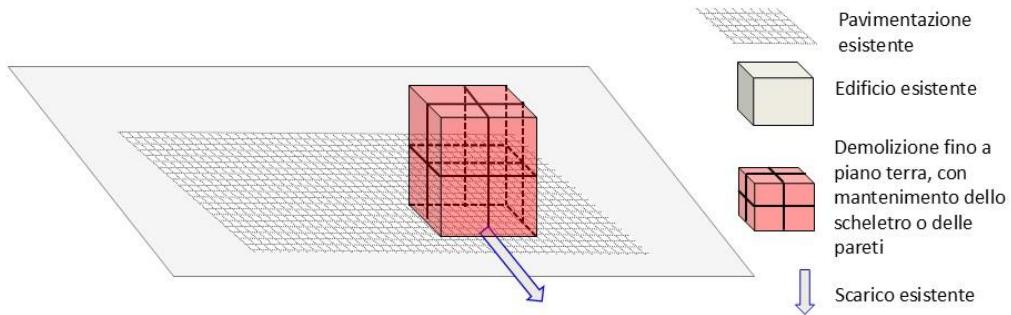
1. Sono richieste misure di invarianza idraulica o idrologica calcolate per la superficie interessata dall'intervento
2. La portata del nuovo scarico è vincolata al limite massimo ammissibile da regolamento

5. **Interventi di nuova costruzione [articolo 3, comma 1, lettera e), del d.p.r. 380/2001] consistenti in sopraelevazioni con aumento della superficie coperta dell'edificio.**



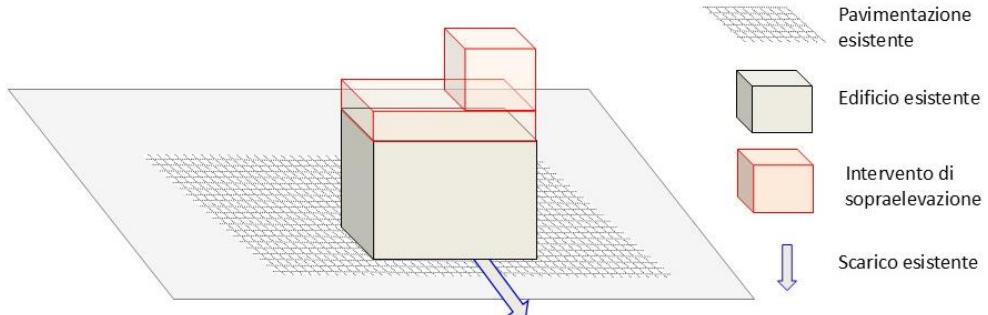
1. Sono richieste misure di invarianza idraulica o idrologica calcolate per la superficie interessata dall'intervento
2. La portata del nuovo scarico è vincolata al limite massimo ammissibile da regolamento

6. Interventi di **ristrutturazione edilizia** [articolo 3, comma 1, lettera d) del d.p.r. 380/2001] se consistenti nella demolizione con mantenimento dello scheletro o delle pareti.



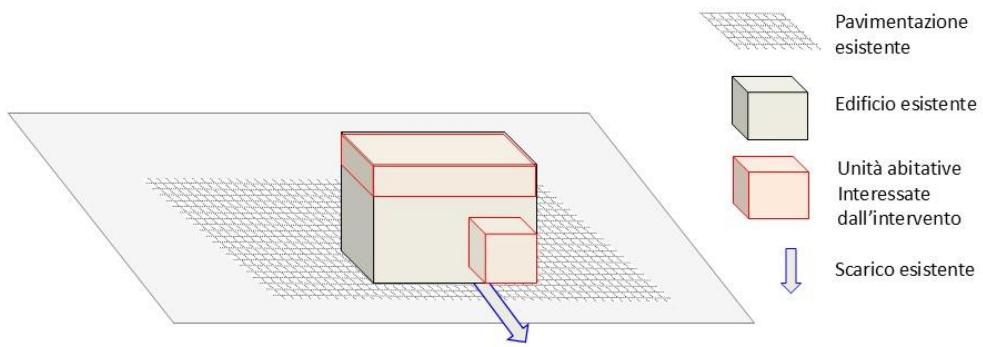
Non sono richieste, ma sono auspicabili, misure di invarianza idraulica o idrologica

7. Interventi di **nuova costruzione** [articolo 3, comma 1, lettera e), del d.p.r. 380/2001] consistenti in **sopraelevazioni** senza aumento della superficie coperta dell'edificio.



Non sono richieste, ma sono auspicabili, misure di invarianza idraulica o idrologica

8. Interventi di manutenzione ordinaria, straordinaria e risanamento conservativo
[art. 3, comma 1, lettere a), b) e c) del d.p.r. 380/2001]

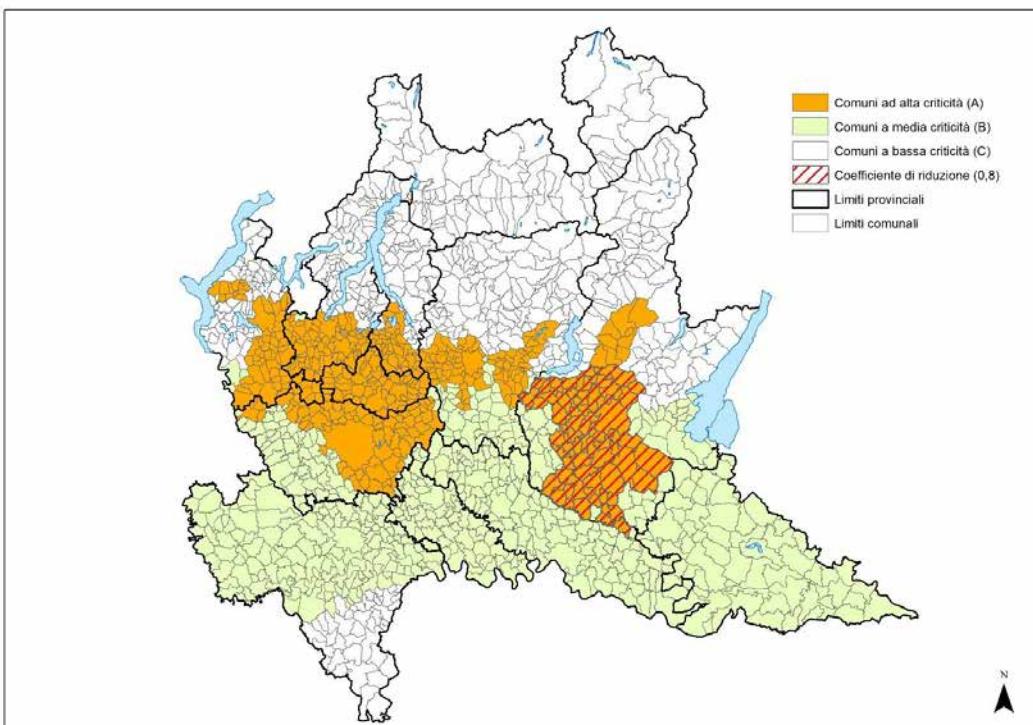


Non sono richieste misure di invarianza idraulica o idrologica, ma auspicabili (ad esempio nel caso in cui l'intervento interessi l'intero edificio)

Allegato B - Elenco dei bacini idrografici o delle porzioni di bacino idrografico ad alta criticità idraulica e cartografia degli ambiti a diversa criticità idraulica**Bacini idrografici e porzioni di bacino idrografico ad alta criticità idraulica:**

- Arno-Rile-Tenore
- Lambro (escluso il bacino a nord del lago di Pusiano), fino alla sezione ubicata al confine sud del comune di Melegnano
- Seveso, compreso il canale Redefossi fino alla sua confluenza nella Roggia Vettabbia
- Garbogera
- Pudiga
- Nirone
- Guisa
- Lura
- Bozzente
- Fontanile di Tradate
- Gradaluso
- Olona, fino al nodo idraulico di Conca Fallata
- Lambro meridionale, fino alla sezione ubicata al confine sud del comune di Locate Triulzi
- Molgora
- Trobbie
- Lesina
- Mella
- Garza
- Morletta
- Morla
- Zerra
- Longherone
- Miola
- Garzetta
- Rio Torto
- Torrente Toscio
- Lago di Annone
- Fossa Spagnola e Borgofrancone
- Cherio, a partire dal lago di Endine
- Boesio
- Gandaloglio
- Dordo
- Quisa
- Cosia

Cartografia degli ambiti a diversa criticità idraulica



Allegato C - Elenco dei Comuni ricadenti nelle aree ad alta, media e bassa criticità idraulica, ai sensi dell'art. 7 del regolamento

Comuni ricadenti nelle aree ad alta (A), media (B) e bassa (C) criticità idraulica, ai sensi dell'art. 7 del regolamento:

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
ABBADIA CERRETO	LO	B	
ABBADIA LARIANA	LC	C	
ABBIATEGRASSO	MI	B	
ACQUAFREDDA	BS	B	
ACQUANEGRA CREMONESE	CR	B	
ACQUANEGRA SUL CHIESE	MN	B	
ADRARA SAN MARTINO	BG	C	
ADRARA SAN ROCCO	BG	C	
ADRO	BS	A	0,8
AGNADELLO	CR	B	
AGNOSINE	BS	C	
AGRA	VA	C	
AGRATE BRIANZA	MB	A	
AICURZIO	MB	A	
AIRUNO	LC	C	
ALAGNA	PV	B	
ALBAIRATE	MI	B	
ALBANO SANT`ALESSANDRO	BG	A	
ALBAREDO PER SAN MARCO	SO	C	
ALBAVILLA	CO	A	
ALBESE CON CASSANO	CO	A	
ALBIATE	MB	A	
ALBINO	BG	C	
ALBIOLO	CO	A	
ALBIZZATE	VA	A	
ALBONESE	PV	B	
ALBOSAGGIA	SO	C	
ALBUZZANO	PV	B	
ALFIANELLO	BS	B	
ALGUA	BG	C	
ALME'	BG	A	
ALMENNO SAN BARTOLOMEO	BG	A	
ALMENNO SAN SALVATORE	BG	C	
ALSERIO	CO	A	
ALTA VALLE INTELVI	CO	C	
ALZANO LOMBARDO	BG	C	
ALZATE BRIANZA	CO	A	
AMBIVERE	BG	A	
ANDALO VALTELLINO	SO	C	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
ANFO	BS	C	
ANGERA	VA	C	
ANGOLO TERME	BS	C	
ANNICCO	CR	B	
ANNONE DI BRIANZA	LC	A	
ANTEGNATE	BG	B	
ANZANO DEL PARCO	CO	A	
APPIANO GENTILE	CO	A	
APRICA	SO	C	
ARCENE	BG	A	
ARCISATE	VA	A	
ARCONATE	MI	B	
ARCORE	MB	A	
ARDENNO	SO	C	
ARDESIO	BG	C	
ARENA PO	PV	B	
ARESE	MI	A	
ARGEGNO	CO	C	
ARLUNO	MI	B	
AROSIO	CO	A	
ARSAGO SEPPIO	VA	C	
ARTOGNE	BS	C	
ARZAGO D`ADDÀ	BG	B	
ASOLA	MN	B	
ASSAGO	MI	A	
ASSO	CO	C	
AVERARA	BG	C	
AVIATICO	BG	C	
AZZANELLO	CR	B	
AZZANO MELLA	BS	A	0,8
AZZANO SAN PAOLO	BG	A	
AZZATE	VA	C	
AZZIO	VA	A	
AZONE	BG	C	
BADIA PAVESE	PV	B	
BAGNARIA	PV	C	
BAGNATICA	BG	A	
BAGNOLO CREMASCO	CR	B	
BAGNOLO MELLA	BS	A	0,8
BAGNOLO SAN VITO	MN	B	
BAGOLINO	BS	C	
BALLABIO	LC	C	
BARANZATE	MI	A	
BARASSO	VA	C	
BARBARIGA	BS	A	0,8
BARBATA	BG	B	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
BARBIANELLO	PV	B	
BARDELLO CON MALGESSO E BREGANO	VA	C	
BAREGGIO	MI	B	
BARGHE	BS	C	
BARIANO	BG	B	
BARLASSINA	MB	A	
BARNI	CO	C	
BARZAGO	LC	A	
BARZANA	BG	A	
BARZANO'	LC	A	
BARZIO	LC	C	
BASCAPE'	PV	B	
BASIANO	MI	A	
BASIGLIO	MI	B	
BASSANO BRESCIANO	BS	A	0,8
BASTIDA PANCARANA	PV	B	
BATTUDA	PV	B	
BEDERO VALCUVIA	VA	C	
BEDIZZOLE	BS	B	
BEDULITA	BG	C	
BELGIOIOSO	PV	B	
BELLAGIO	CO	C	
BELLANO	LC	C	
BELLINZAGO LOMBARDO	MI	A	
BELLUSCO	MB	A	
BEMA	SO	C	
BENE LARIO	CO	C	
BERBENNO	BG	C	
BERBENNO DI VALTELLINA	SO	C	
BEREGAZZO CON FIGLIARO	CO	A	
BEREGUARDO	PV	B	
BERGAMO	BG	A	
BERLINGO	BS	A	0,8
BERNAREGGIO	MB	A	
BERNATE TICINO	MI	B	
BERTONICO	LO	B	
BERZO DEMO	BS	C	
BERZO INFERIORE	BS	C	
BERZO SAN FERMO	BG	A	
BESANA IN BRIANZA	MB	A	
BESANO	VA	C	
BESATE	MI	B	
BESNATE	VA	A	
BESOZZO	VA	C	
BIANDRONNO	VA	C	
BIANZANO	BG	A	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
BIANZONE	SO	C	
BIASSONO	MB	A	
BIENNO	BS	C	
BINAGO	CO	A	
BINASCO	MI	B	
BIONE	BS	C	
BISUSCHIO	VA	C	
BIZZARONE	CO	A	
BLELLO	BG	C	
BLESSAGNO	CO	C	
BLEVIO	CO	C	
BODIO LOMNAGO	VA	C	
BOFFALORA D'ADDA	LO	B	
BOFFALORA SOPRA TICINO	MI	B	
BOLGARE	BG	A	
BOLLATE	MI	A	
BOLTIERE	BG	B	
BONATE SOPRA	BG	A	
BONATE SOTTO	BG	A	
BONEMERSE	CR	B	
BORDOLANO	CR	B	
BORGARELLO	PV	B	
BORGHETTO LODIGIANO	LO	B	
BORGO DI TERZO	BG	A	
BORGO MANTOVANO	MN	B	
BORGO PRIOLO	PV	C	
BORGO SAN GIACOMO	BS	A	0,8
BORGO SAN GIOVANNI	LO	B	
BORGO SAN SIRO	PV	B	
BORGO VIRGILIO	MN	B	
BORGO CARBONARA	MN	B	
BORGORATTO MORMOROLO	PV	C	
BORGOSATOLLO	BS	A	0,8
BORMIO	SO	C	
BORNASCO	PV	B	
BORNO	BS	C	
BOSISIO PARINI	LC	C	
BOSNASCO	PV	C	
BOSSICO	BG	C	
BOTTANUCO	BG	A	
BOTTICINO	BS	B	
BOVEGNO	BS	A	
BOVEZZO	BS	A	0,8
BOVISIO MASCIAGO	MB	A	
BOZZOLO	MN	B	
BRACCA	BG	C	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
BRALLO DI PREGOLA	PV	C	
BRANDICO	BS	A	0,8
BRANZI	BG	C	
BRAONE	BS	C	
BREBBIA	VA	C	
BREGNANO	CO	A	
BREMbate	BG	B	
BREMbate DI SOPRA	BG	A	
BREMBIO	LO	B	
BREME	PV	B	
BRENNA	CO	A	
BRENO	BS	C	
BRENTA	VA	A	
BRESCIA	BS	A	0,8
BRESSANA BOTTARONE	PV	B	
BRESSO	MI	A	
BREZZO DI BEDERO	VA	C	
BRIENNO	CO	C	
BRIGNANO GERA D'ADDA	BG	B	
BRINZIO	VA	C	
BRIONE	BS	A	0,8
BRIOSCO	MB	A	
BRISSAGO - VALTRAVAGLIA	VA	C	
BRIVIO	LC	C	
BRONI	PV	B	
BRUGHERIO	MB	A	
BRUMANO	BG	C	
BRUNATE	CO	A	
BRUNELLO	VA	A	
BRUSAPORTO	BG	A	
BRUSIMPIANO	VA	C	
BUBBIANO	MI	B	
BUCCINASCO	MI	B	
BUGLIO IN MONTE	SO	C	
BUGUGGIATE	VA	C	
BULCIAGO	LC	A	
BULGAROGRASSO	CO	A	
BURAGO DI MOLGORA	MB	A	
BUSCATE	MI	A	
BUSNAGO	MB	A	
BUSsero	MI	A	
BUSTO ARSIZIO	VA	A	
BUSTO GAROLFO	MI	B	
CABIATE	CO	A	
CADEGLIANO - VICONAGO	VA	C	
CADORAGO	CO	A	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
CADREZZATE CON OSMATE	VA	C	
CAGLIO	CO	C	
CAINO	BS	A	0,8
CAILO	SO	C	
CAIRATE	VA	A	
CALCINATE	BG	A	
CALCINATO	BS	B	
CALCIO	BG	B	
CALCO	LC	A	
CALOLZIOCORTE	LC	C	
CALUSCO D'ADDA	BG	A	
CALVAGESE DELLA RIVIERA	BS	B	
CALVATONE	CR	B	
CALVENZANO	BG	B	
CALVIGNANO	PV	C	
CALVIGNASCO	MI	B	
CALVISANO	BS	A	0,8
CAMBIAGO	MI	A	
CAMERATA CORNELLO	BG	C	
CAMISANO	CR	B	
CAMPAGNOLA CREMASCA	CR	B	
CAMPARADA	MB	A	
CAMPIONE D'ITALIA	CO	C	
CAMPODOLCINO	SO	C	
CAMPOSPINOSO ALBAREDO	PV	B	
CANDIA LOMELLINA	PV	B	
CANEGRATE	MI	A	
CANNETO PAVESE	PV	C	
CANNETO SULL'OGLIO	MN	B	
CANONICA D'ADDA	BG	B	
CANTELLO	VA	A	
CANTU'	CO	A	
CANZO	CO	C	
CAPERGNANICA	CR	B	
CAPIAGO INTIMIANO	CO	A	
CAPIZZONE	BG	C	
CAPO DI PONTE	BS	C	
CAPONAGO	MB	A	
CAPOVALLE	BS	C	
CAPPELLA CANTONE	CR	B	
CAPPELLA DE' PICENARDI	CR	B	
CAPRALBA	CR	B	
CAPRIANO DEL COLLE	BS	A	0,8
CAPRIATE SAN GERVASIO	BG	B	
CAPRINO BERGAMASCO	BG	C	
CAPRIOLI	BS	A	0,8

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
CARATE BRIANZA	MB	A	
CARATE UARIO	CO	C	
CARAVAGGIO	BG	B	
CARAVATE	VA	A	
CARBONARA AL TICINO	PV	B	
CARBONATE	CO	A	
CARDANO AL CAMPO	VA	A	
CARENNO	LC	C	
CARIMATE	CO	A	
CARLAZZO	CO	C	
CARNAGO	VA	A	
CARNATE	MB	A	
CARROBBIO DEGLI ANGELI	BG	A	
CARONA	BG	C	
CARONNO PERTUSELLA	VA	A	
CARONNO VARESINO	VA	A	
CARPENEDOLO	BS	B	
CARPIANO	MI	A	
CARUGATE	MI	A	
CARUGO	CO	A	
CARVICO	BG	A	
CASALBUTTANO ED UNITI	CR	B	
CASALE CREMASCO - VIDOLASCO	CR	B	
CASALE LITTA	VA	C	
CASALETTO CEREDANO	CR	B	
CASALETTO DI SOPRA	CR	B	
CASALETTO LODIGIANO	LO	B	
CASALETTO VAPRIO	CR	B	
CASALMAGGIORE	CR	B	
CASALMAIOCCO	LO	B	
CASALMORANO	CR	B	
CASALMORO	MN	B	
CASALOLDO	MN	B	
CASALPUSTERLENGO	LO	B	
CASALROMANO	MN	B	
CASALZUIGNO	VA	A	
CASANOVA LONATI	PV	B	
CASARGO	LC	C	
CASARILE	MI	B	
CASATENOVO	LC	A	
CASATISMA	PV	B	
CASAZZA	BG	A	
CASCIAGO	VA	C	
CASEI GEROLA	PV	B	
CASELLE LANDI	LO	B	
CASELLE LURANI	LO	B	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
CASIRATE D'ADDA	BG	B	
CASLINO D'ERBA	CO	C	
CASNATE CON BERNATE	CO	A	
CASNIGO	BG	C	
CASORATE PRIMO	PV	B	
CASORATE SEMPIONE	VA	B	
CASOREZZO	MI	B	
CASPoggIO	SO	C	
CASSAGO BRIANZA	LC	A	
CASSANO D'ADDA	MI	A	
CASSANO MAGNAGO	VA	A	
CASSANO VALCUVIA	VA	C	
CASSIGLIO	BG	C	
CASSINA DE PECCHI	MI	A	
CASSINA RIZZARDI	CO	A	
CASSINA VALSASSINA	LC	C	
CASSINETTA DI LUGAGNANO	MI	B	
CASSOLNOVO	PV	B	
CASTANA	PV	C	
CASTANO PRIMO	MI	A	
CASTEGGIO	PV	C	
CASTEGNATO	BS	A	0,8
CASTEL D'ARIO	MIN	B	
CASTEL GABBIANO	CR	B	
CASTEL GOFFREDO	MN	B	
CASTEL MELLA	BS	A	0,8
CASTEL ROZZONE	BG	B	
CASTELBELFORTE	MIN	B	
CASTELCOVATI	BS	B	
CASTELDIDONE	CR	B	
CASTELGERUNDO	LO	B	
CASTELLANZA	VA	A	
CASTELLEONE	CR	B	
CASTELLETTO DI BRANDUZZO	PV	B	
CASTELLI CALEPIO	BG	B	
CASTELLO CABIAGLIO	VA	C	
CASTELLO D'AGOGNA	PV	B	
CASTELLO DELL'ACQUA	SO	C	
CASTELLO DI BRIANZA	LC	A	
CASTELLUCCHIO	MN	B	
CASTELMARTE	CO	C	
CASTELNOVETTO	PV	B	
CASTELNUOVO BOCCA D'ADDA	LO	B	
CASTELNUOVO BOZZENTE	CO	A	
CASTELSEPRIO	VA	A	
CASTELVECCANA	VA	C	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
CASTELVERDE	CR	B	
CASTELVISCONTI	CR	B	
CASTENEDOLO	BS	A	0,8
CASTIGLIONE D'ADDA	LO	B	
CASTIGLIONE DELLE STIVIERE	MN	B	
CASTIGLIONE OLONA	VA	A	
CASTIONE ANDEVENNO	SO	C	
CASTIONE DELLA PRESOLANA	BG	C	
CASTIRAGA VIDARDO	LO	B	
CASTO	BS	C	
CASTREZZATO	BS	B	
CASTRO	BG	C	
CASTRONNO	VA	A	
CAVA MANARA	PV	B	
CAVARGNA	CO	C	
CAVARIA CON PREMEZZO	VA	A	
CAVENAGO D'ADDA	LO	B	
CAVENAGO DI BRIANZA	MB	A	
CAVERNAGO	BG	B	
CAVRIANA	MN	B	
CAZZAGO BRABBIA	VA	C	
CAZZAGO SAN MARTINO	BS	A	0,8
CAZZANO SANT'ANDREA	BG	C	
CECIMA	PV	C	
CEDEGOLO	BS	C	
CEDRASCO	SO	C	
CELLA DATI	CR	B	
CELLATICA	BS	A	0,8
CENATE SOPRA	BG	A	
CENATE SOTTO	BG	A	
CENE	BG	C	
CENTRO VALLE INTELVI	CO	C	
CERANO INTELVI	CO	C	
CERANOVA	PV	B	
CERCINO	SO	C	
CERESARA	MN	B	
CERETE	BG	C	
CERETTO LOMELLINA	PV	B	
CERGNAGO	PV	B	
CERIANO LAGHETTO	MB	A	
CERMENATE	CO	A	
CERNOBBIO	CO	C	
CERNUSCO LOMBARDONE	LC	A	
CERNUSCO SUL NAVIGLIO	MI	A	
CERRO AL LAMBRO	MI	A	
CERRO MAGGIORE	MI	A	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
CERTOSA DI PAVIA	PV	B	
CERVENO	BS	C	
CERVESINA	PV	B	
CERVIGNANO D' ADDA	LO	B	
CESANA BRIANZA	LC	C	
CESANO BOSCONI	MI	B	
CESANO MADERNO	MB	A	
CESATE	MI	A	
CETO	BS	C	
CEVO	BS	C	
CHIARI	BS	B	
CHIAVENNA	SO	C	
CHIESA IN VALMALENCO	SO	C	
CHIEVE	CR	B	
CHIGNOLO D' ISOLA	BG	A	
CHIGNOLO PO	PV	B	
CHIUDUNO	BG	A	
CHIURO	SO	C	
CICOGNOLI	CR	B	
CIGOGNOLA	PV	C	
CIGOLE	BS	A	0,8
CILAVEGNA	PV	B	
CIMBERGO	BS	C	
CINGIA DE' BOTTI	CR	B	
CINISELLO BALSAMO	MI	A	
CINO	SO	C	
CIRIMIDO	CO	A	
CISANO BERGAMASCO	BG	C	
CISERANO	BG	B	
CISLAGO	VA	A	
CISLIANO	MI	B	
CITTIGLIO	VA	A	
CIVATE	LC	A	
CIVIDATE AL PIANO	BG	B	
CIVIDATE CAMUNO	BS	C	
CIVO	SO	C	
CLAINO CON OSTENO	CO	C	
CLIVIO	VA	A	
CLUSONE	BG	C	
COCCAGLIO	BS	B	
COQUIO - TREVISO	VA	C	
CODEVILLA	PV	C	
CODOGNO	LO	B	
COGLIATE	MB	A	
COLERE	BG	C	
COLICO	LC	C	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
COLLE BRIANZA	LC	A	
COLLEBEATO	BS	A	0,8
COLLI VERDI	PV	C	
COLLIO	BS	A	
COLOGNE	BS	A	0,8
COLOGNO AL SERIO	BG	B	
COLOGNO MONZESE	MI	A	
COLONNO	CO	C	
COLORINA	SO	C	
COLTURANO	MI	A	
COLVERDE	CO	A	
COLZATE	BG	C	
COMABBIO	VA	C	
COMAZZO	LO	B	
COMERIO	VA	C	
COMEZZANO - CIZZAGO	BS	B	
COMMESSAGGIO	MN	B	
COMO	CO	A	
COMUN NUOVO	BG	B	
CONCESIO	BS	A	0,8
CONCOREZZO	MB	A	
CONFIDENZA	PV	B	
COPIANO	PV	B	
CORANA	PV	B	
CORBETTA	MI	B	
CORMANO	MI	A	
CORNA IMAGNA	BG	C	
CORNALBA	BG	C	
CORNALE E BASTIDA	PV	B	
CORNAREDO	MI	B	
CORNATE D'ADDA	MB	A	
CORNEGLIANO LAUDENSE	LO	B	
CORNO GIOVINE	LO	B	
CORNOVECCHIO	LO	B	
CORREZZANA	MB	A	
CORRIDO	CO	C	
CORSICO	MI	B	
CORTE DE' CORTESI CON CIGNONE	CR	B	
CORTE DE' FRATI	CR	B	
CORTE FRANCA	BS	A	0,8
CORTE PALASIO	LO	B	
CORTENO GOLGI	BS	C	
CORTENOVA	LC	C	
CORTENUOVA	BG	B	
CORTEOLONA E GENZONE	PV	B	
CORVINO SAN QUIRICO	PV	B	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
CORZANO	BS	A	0,8
COSIO VALTELLINO	SO	C	
COSTA DE' NOBILI	PV	B	
COSTA DI MEZZATE	BG	A	
COSTA MASNAGA	LC	A	
COSTA SERINA	BG	C	
COSTA VALLE IMAGNA	BG	C	
COSTA VOLPINO	BG	C	
COVO	BG	B	
COZZO	PV	B	
CRANDOLA VALSASSINA	LC	C	
CREDARO	BG	C	
CREDERA RUBBIANO	CR	B	
CREMA	CR	B	
CREMELLA	LC	A	
CREMENAGA	VA	C	
CREMENO	LC	C	
CREMIA	CO	C	
CREMONA	CR	B	
CREMOSANO	CR	B	
CRESPIATICA	LO	B	
CROSIO DELLA VALLE	VA	C	
CROTTA D`ADDÀ	CR	B	
CUASSO AL MONTE	VA	C	
CUCCIAGO	CO	A	
CUGGIONO	MI	B	
CUGLIATE - FABIASCO	VA	C	
CUMIGNANO SUL NAVIGLIO	CR	B	
CUNARDO	VA	C	
CURA CARPIGNANO	PV	B	
CURIGLIA CON MONTEVIASCO	VA	C	
CURNO	BG	A	
CURTATONE	MI	B	
CUSAGO	MI	B	
CUSANO MILANINO	MI	A	
CUSINO	CO	C	
CUSIO	BG	C	
CUVEGLIO	VA	A	
CUVIO	VA	A	
DAIRAGO	MI	B	
DALMINE	BG	A	
DARFO BOARIO TERME	BS	C	
DAVERIO	VA	C	
DAZIO	SO	C	
DELEBIO	SO	C	
DELLO	BS	A	0,8

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
DEROVERE	CR	B	
DERVIO	LC	C	
DESENZANO DEL GARDA	BS	B	
DESIO	MB	A	
DIZZASCO	CO	C	
DOLZAGO	LC	A	
DOMASO	CO	C	
DONGO	CO	C	
DORIO	LC	C	
DORNO	PV	B	
DOSOLO	MN	B	
DOSSENA	BG	C	
DOSSO DEL LIRO	CO	C	
DOVERA	CR	B	
DRESANO	MI	B	
DUBINO	SO	C	
DUMENZA	VA	C	
DUNO	VA	A	
EDOLO	BS	C	
ELLO	LC	A	
ENDINE GAIANO	BG	A	
ENTRATICO	BG	A	
ERBA	CO	C	
ERBUSCO	BS	A	0,8
ERVE	LC	C	
ESINE	BS	C	
ESINO LARIO	LC	C	
EUPILIO	CO	C	
FAEDO VALTELLINO	SO	C	
FAGGETO LARIO	CO	C	
FAGNANO OLONA	VA	A	
FALOPPIO	CO	A	
FARA GERA D' ADDA	BG	B	
FARA OLIVANA CON SOLA	BG	B	
FENEGRO'	CO	A	
FERNO	VA	A	
FERRERA DI VARESE	VA	C	
FERRERA ERBOGNONE	PV	B	
FIESCO	CR	B	
FIESSE	BS	B	
FIGINO SERENZA	CO	A	
FILAGO	BG	A	
FILIGHERA	PV	B	
FINO DEL MONTE	BG	C	
FINO MORNASCO	CO	A	
FIORANO AL SERIO	BG	C	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
FLERO	BS	A	0,8
FOMBIO	LO	B	
FONTANELLA	BG	B	
FONTENO	BG	C	
FOPPOLO	BG	C	
FORCOLA	SO	C	
FORESTO SPARSO	BG	C	
FORMIGARA	CR	B	
FORNOVO SAN GIOVANNI	BG	B	
FORTUNAGO	PV	C	
FRASCAROLO	PV	B	
FUIPIANO VALLE IMAGNA	BG	C	
FUSINE	SO	C	
GABBIONETA BINANUOVA	CR	B	
GADESCO PIEVE DELMONA	CR	B	
GAGGIANO	MI	B	
GALBIATE	LC	A	
GALGAGNANO	LO	B	
GALLARATE	VA	A	
GALLIATE LOMBARDO	VA	C	
GALLIAVOLA	PV	B	
GAMBARA	BS	B	
GAMBARANA	PV	B	
GAMBOLO'	PV	B	
GANDELLINO	BG	C	
GANDINO	BG	C	
GANDOSSO	BG	C	
GARBAGNATE MILANESE	MI	A	
GARBAGNATE MONASTERO	LC	A	
GARDONE RIVIERA	BS	C	
GARDONE VALTROMPIA	BS	A	
GARGNANO	BS	C	
GARLASCO	PV	B	
GARLATE	LC	C	
GARZENO	CO	C	
GAVARDO	BS	C	
GAVERINA TERME	BG	A	
GAVIRATE	VA	C	
GAZOLDO DEGLI IPPOLITI	MN	B	
GAZZADA SCHIANSO	VA	A	
GAZZANIGA	BG	C	
GAZZUOLO	MN	B	
GEMONIO	VA	A	
GENIVOLTA	CR	B	
GERA LARIO	CO	C	
GERENZAGO	PV	B	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
GERENZANO	VA	A	
GERMIGNAGA	VA	C	
GEROLA ALTA	SO	C	
GERRE DE`CAPRIOLI	CR	B	
GESSATE	MI	A	
GHEDI	BS	A	0,8
GHISALBA	BG	B	
GIANICO	BS	C	
GIUSSAGO	PV	B	
GIUSSANO	MB	A	
GODIASCO SALICE TERME	PV	C	
GOITO	MN	B	
GOLASECCA	VA	C	
GOLFERENZO	PV	C	
GOMBITO	CR	B	
GONZAGA	MN	B	
GORDONA	SO	C	
GORGONZOLA	MI	A	
GORLA MAGGIORE	VA	A	
GORLA MINORE	VA	A	
GORLAGO	BG	A	
GORLE	BG	B	
GORNATE OLONA	VA	A	
GORNO	BG	C	
GOTTOLENGO	BS	B	
GRAFFIGNANA	LO	B	
GRANDATE	CO	A	
GRANDOLA ED UNITI	CO	C	
GRANTOLA	VA	C	
GRASSOBBIO	BG	B	
GRAVEDONA ED UNITI	CO	C	
GRAVELLONA LOMELLINA	PV	B	
GREZZAGO	MI	A	
GRIANTE	CO	C	
GROMO	BG	C	
GRONE	BG	A	
GRONTARDO	CR	B	
GROPELLO CAIROLI	PV	B	
GROSIO	SO	C	
GROSOTTO	SO	C	
GRUMELLO CREMONESE ED UNITI	CR	B	
GRUMELLO DEL MONTE	BG	A	
GUANZATE	CO	A	
GUARDAMIGLIO	LO	B	
GUDOVISCONTI	MI	B	
GUIDIZZOLO	MN	B	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
GUSSAGO	BS	A	0,8
GUSSOLA	CR	B	
IDRO	BS	C	
IMBERSAGO	LC	A	
INARZO	VA	C	
INCUDINE	BS	C	
INDUNO OLONA	VA	A	
INTROBIO	LC	C	
INVERIGO	CO	A	
INVERNO E MONTELEONE	PV	B	
INVERUNO	MI	B	
INZAGO	MI	A	
IRMA	BS	A	
ISEO	BS	C	
ISOLA DI FONDRA	BG	C	
ISOLA DOVARESE	CR	B	
ISORELLA	BS	B	
ISPRA	VA	C	
ISSO	BG	B	
IZANO	CR	B	
JERAGO CON ORAGO	VA	A	
LA VALLETTA BRIANZA	LC	A	
LACCHIARELLA	MI	B	
LAGLIO	CO	C	
LAINATE	MI	A	
LAINO	CO	C	
LALLIO	BG	A	
LAMBRUGO	CO	A	
LANDRIANO	PV	B	
LANGOSCO	PV	B	
LANZADA	SO	C	
LARDIRAGO	PV	B	
LASNIGO	CO	C	
LAVENA PONTE TRESA	VA	C	
LAVENO - MOMBELLO	VA	A	
LAVENONE	BS	C	
LAZZATE	MB	A	
LECCO	LC	C	
LEFFE	BG	C	
LEGGIUNO	VA	C	
LEGNANO	MI	A	
LENNA	BG	C	
LENO	BS	A	0,8
LENTATE SUL SEVESO	MB	A	
LESMO	MB	A	
LEVATE	BG	A	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
LEZZENO	CO	C	
LIERNA	LC	C	
LIMBIATE	MB	A	
LIMIDO COMASCO	CO	A	
LIMONE SUL GARDA	BS	C	
LINAROLO	PV	B	
LIPOMO	CO	A	
LIRIO	PV	C	
LISCATE	MI	A	
LISSONE	MB	A	
LIVIGNO	SO	C	
LIVO	CO	C	
LIVRAGA	LO	B	
LOCATE DI TRIULZI	MI	A	
LOCATE VARESINO	CO	A	
LOCATELLO	BG	C	
LODI	LO	B	
LODI VECCHIO	LO	B	
LODRINO	BS	A	
LOGRATO	BS	A	0,8
LOMAGNA	LC	A	
LOMAZZO	CO	A	
LOMELLO	PV	B	
LONATE CEPPINO	VA	A	
LONATE POZZOLO	VA	A	
LONATO DEL GARDA	BS	B	
LONGHENA	BS	A	0,8
LONGONE AL SEGRINO	CO	C	
LOSINE	BS	C	
LOVERE	BG	C	
LOVERO	SO	C	
LOZIO	BS	C	
LOZZA	VA	A	
LUINO	VA	C	
LUISAGO	CO	A	
LUMEZZANE	BS	A	0,8
LUNGAVILLA	PV	B	
LURAGO D'ERBA	CO	A	
LURAGO MARINONE	CO	A	
LURANO	BG	A	
LURATE CACCIVIO	CO	A	
LUVINATE	VA	C	
LUZZANA	BG	A	
MACCAGNO CON PINO E VEDDASCA	VA	C	
MACCASTORNA	LO	B	
MACHERIO	MB	A	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
MACLODIO	BS	A	0,8
MADESIMO	SO	C	
MADIGNANO	CR	B	
MADONE	BG	A	
MAGASA	BS	C	
MAGENTA	MI	B	
MAGHERNO	PV	B	
MAGNACAVALLO	MN	B	
MAGNAGO	MI	A	
MAGREGLIO	CO	C	
MAIRAGO	LO	B	
MAIRANO	BS	A	0,8
MALAGNINO	CR	B	
MALEGNO	BS	C	
MALEO	LO	B	
MALGRATE	LC	C	
MALNATE	VA	A	
MALONNO	BS	C	
MANDELLO DEL LARIO	LC	C	
MANERBA DEL GARDA	BS	B	
MANERBIO	BS	A	0,8
MANTELLO	SO	C	
MANTOVA	MN	B	
MAPELLO	BG	A	
MARCALLO CON CASONE	MI	B	
MARCARIA	MN	B	
MARCHENO	BS	A	
MARCHIROLO	VA	C	
MARCIGNAGO	PV	B	
MARGNO	LC	C	
MARIANA MANTOVANA	MN	B	
MARIANO COMENSE	CO	A	
MARMENTINO	BS	A	
MARMIROLO	MN	B	
MARNATE	VA	A	
MARONE	BS	C	
MARTIGNANA DI PO	CR	B	
MARTINENGO	BG	B	
MARUDO	LO	B	
MARZANO	PV	B	
MARZIO	VA	C	
MASATE	MI	A	
MASCIAGO PRIMO	VA	C	
MASLIANICO	CO	C	
MASSALENGO	LO	B	
MAZZANO	BS	B	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
MAZZO DI VALTELLINA	SO	C	
MEDA	MB	A	
MEDE	PV	B	
MEDIGLIA	MI	A	
MEDOLAGO	BG	A	
MEDOLE	MIN	B	
MELEGNANO	MI	A	
MELETI	LO	B	
MELLO	SO	C	
MELZO	MI	A	
MENAGGIO	CO	C	
MENCONICO	PV	C	
MERATE	LC	A	
MERCALLO	VA	C	
MERLINO	LO	B	
MERONE	CO	A	
MESE	SO	C	
MESENZANA	VA	C	
MESERO	MI	B	
MEZZAGO	MB	A	
MEZZANA BIGLI	PV	B	
MEZZANA RABATTONE	PV	B	
MEZZANINO	PV	B	
MEZZOLDO	BG	C	
MILANO	MI	A	
MILZANO	BS	A	0,8
MIRADOLÒ TERME	PV	B	
MISANO DI GERA D'ADDA	BG	B	
MISINTO	MB	A	
MISSAGLIA	LC	A	
MOGGIO	LC	C	
MOGLIA	MN	B	
MOIO DE' CALVI	BG	C	
MOLTENO	LC	A	
MOLTRASIO	CO	C	
MONASTEROLO DEL CASTELLO	BG	A	
MONGUZZO	CO	A	
MONIGA DEL GARDA	BS	B	
MONNO	BS	C	
MONTAGNA IN VALTELLINA	SO	C	
MONTALTO PAVESE	PV	C	
MONTANASO LOMBARDO	LO	B	
MONTANO LUCINO	CO	A	
MONTE CREMASCO	CR	B	
MONTE ISOLA	BS	C	
MONTE MARENZO	LC	C	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
MONTEBELLO DELLA BATTAGLIA	PV	B	
MONTECALVO VERSIGGIA	PV	C	
MONTEGRINO VALTRAVAGLIA	VA	C	
MONTELLO	BG	A	
MONTEMEZZO	CO	C	
MONTESCANO	PV	C	
MONTESEGNALE	PV	C	
MONTEVECCHIA	LC	A	
MONTICELLI BRUSATI	BS	A	0,8
MONTICELLI PAVESE	PV	B	
MONTICELLO BRIANZA	LC	A	
MONTICHIARI	BS	A	0,8
MONTIRONE	BS	A	0,8
MONTODINE	CR	B	
MONTORFANO	CO	A	
MONTU' BECCARIA	PV	C	
MONVALLE	VA	C	
MONZA	MB	A	
MONZAMBANO	MN	B	
MORAZZONE	VA	A	
MORBEGNO	SO	C	
MORENGO	BG	B	
MORIMONDO	MI	B	
MORNAGO	VA	C	
MORNICO AL SERIO	BG	A	
MORNICO LOSANA	PV	C	
MORTARA	PV	B	
MORTERONE	LC	C	
MOSCAZZANO	CR	B	
MOTTA BALUFFI	CR	B	
MOTTA VISCONTI	MI	B	
MOTTEGGIANA	MN	B	
MOZZANICA	BG	B	
MOZZATE	CO	A	
MOZZO	BG	A	
MUGGIO'	MB	A	
MULAZZANO	LO	B	
MURA	BS	C	
MUSCOLINE	BS	B	
MUSSO	CO	C	
NAVE	BS	A	0,8
NEMBRO	BG	C	
NERVIANO	MI	A	
NESSO	CO	C	
NIARDO	BS	C	
NIBIONNO	LC	A	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
NICORVO	PV	B	
NOSATE	MI	B	
NOVA MILANESE	MB	A	
NOVATE MEZZOLA	SO	C	
NOVATE MILANESE	MI	A	
NOVEDRATE	CO	A	
NOVIGLIO	MI	B	
NUVOLENTO	BS	B	
NUVOLERA	BS	B	
ODOLO	BS	C	
OFFANENGO	CR	B	
OFFLAGA	BS	A	0,8
OGGIONA CON SANTO STEFANO	VA	A	
OGGIONO	LC	A	
OLEVANO DI LOMELLINA	PV	B	
OLGIATE COMASCO	CO	A	
OLGIATE MOLGORA	LC	A	
OLGIATE OLONA	VA	A	
OLGINATE	LC	C	
OLIVA GESSI	PV	C	
OLIVETO LARIO	LC	C	
OLMENETA	CR	B	
OLMO AL BREMBO	BG	C	
OLTRE IL COLLE	BG	C	
OLTRESSENDA ALTA	BG	C	
OLTRONA DI SAN MAMETTE	CO	A	
OME	BS	A	0,8
ONETA	BG	C	
ONO SAN PIETRO	BS	C	
ONORE	BG	C	
OPERA	MI	A	
ORIGGIO	VA	A	
ORINO	VA	A	
ORIO AL SERIO	BG	A	
ORIO LITTA	LO	B	
ORNAGO	MB	A	
ORNICA	BG	C	
ORSENIGO	CO	A	
ORZINUOVI	BS	B	
ORZIVECCHI	BS	B	
OSIO SOPRA	BG	B	
OSIO SOTTO	BG	B	
OSNAGO	LC	A	
OSPEDALETTO LODIGIANO	LO	B	
OSPITALETTO	BS	A	0,8
OSSAGO LODIGIANO	LO	B	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
OSSIMO	BS	C	
OSSONA	MI	B	
OSTIANO	CR	A	0,8
OSTIGLIA	MN	B	
OTTOBIANO	PV	B	
OZZERO	MI	B	
PADENGHE SUL GARDA	BS	B	
PADERNO D'ADDA	LC	A	
PADERNO DUGNANO	MI	A	
PADERNO FRANCIACORTA	BS	A	0,8
PADERNO PONCHIELLI	CR	B	
PAGAZZANO	BG	B	
PAGNONA	LC	C	
PAISCO LOVENO	BS	C	
PAITONE	BS	C	
PALADINA	BG	A	
PALAZZAGO	BG	A	
PALAZZO PIGNANO	CR	B	
PALAZZOLO SULL'OGLIO	BS	A	0,8
PALESTRO	PV	B	
PALOSCO	BG	A	
PANCARANA	PV	B	
PANDINO	CR	B	
PANTIGLIATE	MI	A	
PARABIAGO	MI	A	
PARATICO	BS	B	
PARLASCO	LC	C	
PARONA	PV	B	
PARRE	BG	C	
PARZANICA	BG	C	
PASPARDO	BS	C	
PASSIRANO	BS	A	0,8
PASTURO	LC	C	
PAULLO	MI	B	
PAVIA	PV	B	
PAVONE DEL MELLA	BS	A	0,8
PEDESINA	SO	C	
PEDRENGO	BG	A	
PEGLIO	CO	C	
PEGOGNAGA	MN	B	
PEIA	BG	C	
PERLEDO	LC	C	
PERO	MI	A	
PERSICO DOSIMO	CR	B	
PERTICA ALTA	BS	C	
PERTICA BASSA	BS	C	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
PESCAROLO ED UNITI	CR	B	
PESCATE	LC	C	
PESCHIERA BORROMEO	MI	A	
PESSANO CON BORNAGO	MI	A	
PESSINA CREMONESE	CR	B	
PEZZAZE	BS	A	
PIADENA DRIZZONA	CR	B	
PIAN CAMUNO	BS	C	
PIANCOGNO	BS	C	
PIANELLO DEL LARIO	CO	C	
PIANENGO	CR	B	
PIANICO	BG	C	
PIANTEDO	SO	C	
PIARIO	BG	C	
PIATEDA	SO	C	
PIAZZA BREMBANA	BG	C	
PIAZZATORRE	BG	C	
PIAZZOLO	BG	C	
PIERANICA	CR	B	
PIETRA DE` GIORGI	PV	C	
PIEVE ALBIGNOLA	PV	B	
PIEVE D'OLMI	CR	B	
PIEVE DEL CAIRO	PV	B	
PIEVE EMANUELE	MI	A	
PIEVE FISSIRAGA	LO	B	
PIEVE PORTO MORONE	PV	B	
PIEVE SAN GIACOMO	CR	B	
PIGRA	CO	C	
PINAROLO PO	PV	B	
PIOLTELLO	MI	A	
PISOGNE	BS	C	
PIUBEGA	MN	B	
PIURO	SO	C	
PIZZALE	PV	B	
PIZZIGHETTONE	CR	B	
PLESIO	CO	C	
POGGIO RUSCO	MN	B	
POGGIRIDENTI	SO	C	
POGLIANO MILANESE	MI	A	
POGNANA LARIO	CO	C	
POGNANO	BG	A	
POLAVENO	BS	A	0,8
POLPENAZZE DEL GARDA	BS	B	
POMPIANO	BS	B	
POMPONESCO	MN	B	
PONCARALE	BS	A	0,8

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
PONNA	CO	C	
PONTE DI LEGNO	BS	C	
PONTE IN VALTELLINA	SO	C	
PONTE LAMBRO	CO	C	
PONTE NIZZA	PV	C	
PONTE NOSSA	BG	C	
PONTE SAN PIETRO	BG	A	
PONTERANICA	BG	A	
PONTEVICO	BS	A	0,8
PONTI SUL MINCIO	MN	B	
PONTIDA	BG	A	
PONTIROLO NUOVO	BG	B	
PONTOGLIO	BS	B	
PORLEZZA	CO	C	
PORTALBERA	PV	B	
PORTO CERESIO	VA	C	
PORTO MANTOVANO	MN	B	
PORTO VALTRAVAGLIA	VA	C	
POSTALESIO	SO	C	
POZZAGLIO ED UNITI	CR	B	
POZZO D`ADDA	MI	A	
POZZOLENGO	BS	B	
POZZUOLO MARTESANA	MI	A	
PRADALUNGA	BG	C	
PRALBOINO	BS	A	0,8
PRATA CAMPORTACCIO	SO	C	
PREDORE	BG	C	
PREGNANA MILANESE	MI	A	
PREMANA	LC	C	
PREMOLO	BG	C	
PRESEGGLIE	BS	C	
PRESEZZO	BG	A	
PREVALLE	BS	B	
PRIMALUNA	LC	C	
PROSERPIO	CO	C	
PROVAGLIO D'ISEO	BS	A	0,8
PROVAGLIO VAL SABBIA	BS	C	
PUEGNAGO SUL GARDA	BS	B	
PUMENENGIO	BG	B	
PUSIANO	CO	C	
QUINGENTOLE	MN	B	
QUINTANO	CR	B	
QUINZANO D'OGLIO	BS	A	0,8
QUISTELLO	MN	B	
RANCIO VALCUVIA	VA	C	
RANCO	VA	C	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
RANICA	BG	C	
RANZANICO	BG	A	
RASURA	SO	C	
REA	PV	B	
REDAVALLE	PV	B	
REDONDESCO	MN	B	
REMEDELLO	BS	B	
RENATE	MB	A	
RESCALDINA	MI	A	
RETORBIDO	PV	C	
REZZAGO	CO	C	
REZZATO	BS	B	
RHO	MI	A	
RICENGO	CR	B	
RIPALTA ARPINA	CR	B	
RIPALTA CREMASCA	CR	B	
RIPALTA GUERINA	CR	B	
RIVA DI SOLTO	BG	C	
RIVANAZZANO TERME	PV	C	
RIVAROLO DEL RE ED UNITI	CR	B	
RIVAROLO MANTOVANO	MN	B	
RIVOLTA D'ADDA	CR	B	
ROBBiate	LC	A	
ROBBIO	PV	B	
ROBECCHETTO CON INDUNO	MI	B	
ROBECCO D'OGLIO	CR	B	
ROBECCO PAVESE	PV	B	
ROBECCO SUL NAVIGLIO	MI	B	
ROCCA DE' GIORGI	PV	C	
ROCCA SUSELLA	PV	C	
ROCCAFRANCA	BS	B	
RODANO	MI	A	
RODENG - SAIANO	BS	A	0,8
RODERO	CO	A	
RODIGO	MN	B	
ROE' VOLCIANO	BS	C	
ROGENO	LC	A	
ROGNANO	PV	B	
ROGNO	BG	C	
ROGOLO	SO	C	
ROMAGNESE	PV	C	
ROMANENGO	CR	B	
ROMANO DI LOMBARDIA	BG	B	
RONCADELLE	BS	A	0,8
RONCARO	PV	B	
RONCELLO	MB	A	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
RONCO BRIANTINO	MB	A	
RONCOBELLO	BG	C	
RONCOFERRARO	MN	B	
RONCOLA	BG	C	
ROSASCO	PV	B	
ROSATE	MII	B	
ROTA D'IMAGNA	BG	C	
ROVATO	BS	A	0,8
ROVELLASCA	CO	A	
ROVELLO PORRO	CO	A	
ROVERBELLA	MN	B	
ROVESCALA	PV	C	
ROVETTA	BG	C	
ROZZANO	MI	A	
RUDIANO	BS	B	
SABBIO CHIESE	BS	C	
SABBIONETA	MN	B	
SALA COMACINA	CO	C	
SALE MARASINO	BS	C	
SALERANO SUL LAMBRO	LO	B	
SALO'	BS	C	
SALTRIO	VA	A	
SALVIROLA	CR	B	
SAMARATE	VA	A	
SAMOLACO	SO	C	
SAN BARTOLOMEO VAL CAVARGNA	CO	C	
SAN BASSANO	CR	B	
SAN BENEDETTO PO	MN	B	
SAN CIPRIANO PO	PV	B	
SAN COLOMBANO AL LAMBRO	MI	B	
SAN DAMIANO AL COLLE	PV	C	
SAN DANIELE PO	CR	B	
SAN DONATO MILANESE	MI	A	
SAN FELICE DEL BENACO	BS	B	
SAN FERMO DELLA BATTAGLIA	CO	A	
SAN FIORANO	LO	B	
SAN GENESIO ED UNITI	PV	B	
SAN GERVASIO BRESCIANO	BS	A	0,8
SAN GIACOMO DELLE SEGNATE	MN	B	
SAN GIACOMO FILIPPO	SO	C	
SAN GIORGIO BIGARELLO	MN	B	
SAN GIORGIO DI LOMELLINA	PV	B	
SAN GIORGIO SU LEGNANO	MII	B	
SAN GIOVANNI BIANCO	BG	C	
SAN GIOVANNI DEL DOSSO	MN	B	
SAN GIOVANNI IN CROCE	CR	B	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
SAN GIULIANO MILANESE	MI	A	
SAN MARTINO DALL'ARGINE	MN	B	
SAN MARTINO DEL LAGO	CR	B	
SAN MARTINO IN STRADA	LO	B	
SAN MARTINO SICCOMARIO	PV	B	
SAN NAZZARO VAL CAVARGNA	CO	C	
SAN PAOLO	BS	A	0,8
SAN PAOLO D'ARGON	BG	A	
SAN PELLEGRINO TERME	BG	C	
SAN ROCCO AL PORTO	LO	B	
SAN SIRO	CO	C	
SAN VITTORE OLONA	MI	A	
SAN ZENO NAVIGLIO	BS	A	0,8
SAN ZENONE AL LAMBRO	MI	B	
SAN ZENONE AL PO	PV	B	
SANGIANO	VA	C	
SANNAZZARO DE' BURGONDI	PV	B	
SANT'ALESSIO CON VIALONE	PV	B	
SANT'ANGELO LODIGIANO	LO	B	
SANT'ANGELO LOMELLINA	PV	B	
SANT'OMOBONO TERME	BG	C	
SANTA BRIGIDA	BG	C	
SANTA CRISTINA E BISSONE	PV	B	
SANTA GIULETTA	PV	B	
SANTA MARGHERITA DI STAFFORA	PV	C	
SANTA MARIA DELLA VERSA	PV	C	
SANTA MARIA HOE'	LC	A	
SANTO STEFANO LODIGIANO	LO	B	
SANTO STEFANO TICINO	MI	B	
SAREZZO	BS	A	0,8
SARNICO	BG	C	
SARONNO	VA	A	
SARTIRANA LOMELLINA	PV	B	
SAVIORE DELL'ADAMELLO	BS	C	
SCALDASOLE	PV	B	
SCANDOLARA RAVARA	CR	B	
SCANDOLARA RIPA D'OGLIO	CR	B	
SCANZOROSCIATE	BG	A	
SCHIGNANO	CO	C	
SCHILPARIO	BG	C	
SCHIVENOGLIA	MN	B	
SECUGNAGO	LO	B	
SEDRIANO	MI	B	
SEDRINA	BG	C	
SEGRATE	MI	A	
SELLERO	BS	C	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
SELVINO	BG	C	
SEMIANA	PV	B	
SENAGO	MI	A	
SENIGA	BS	A	0,8
SENNÀ COMASCO	CO	A	
SENNÀ LODIGIANA	LO	B	
SEREGNO	MB	A	
SERGNANO	CR	B	
SERIATE	BG	B	
SERINA	BG	C	
SERLE	BS	C	
SERMIIDE E FELONICA	MN	B	
SERNIO	SO	C	
SERRAVALLE A PO	MN	B	
SESTO CALENDE	VA	C	
SESTO ED UNITI	CR	B	
SESTO SAN GIOVANNI	MI	A	
SETTALA	MI	A	
SETTIMO MILANESE	MI	B	
SEVESO	MB	A	
SILVANO PIETRA	PV	B	
SIRMIONE	BS	B	
SIRONE	LC	A	
SIRTORI	LC	A	
SIZIANO	PV	B	
SOIANO DEL LAGO	BS	B	
SOLARO	MI	A	
SOLAROLO RAINERIO	CR	B	
SOLBIATE ARNO	VA	A	
SOLBIATE CON CAGNO	CO	A	
SOLBIATE OLONA	VA	A	
SOLFERINO	MN	B	
SOLTO COLLINA	BG	C	
SOLZA	BG	A	
SOMAGLIA	LO	B	
SOMMA LOMBARDO	VA	B	
SOMMO	PV	B	
SONCINO	CR	B	
SONDALO	SO	C	
SONDRIOS	SO	C	
SONGAVAZZO	BG	C	
SONICO	BS	C	
SORDIO	LO	B	
SORESINA	CR	B	
SORICO	CO	C	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
SORISOLE	BG	A	
SORMANO	CO	C	
SOSPIRO	CR	B	
SOTTO IL MONTE GIOVANNI XXIII	BG	A	
SOVERE	BG	C	
SOVICO	MB	A	
SPESSA	PV	B	
SPINADESCO	CR	B	
SPINEDA	CR	B	
SPINO D'ADDA	CR	B	
SPINONE AL LAGO	BG	A	
SPIRANO	BG	B	
SPRIANA	SO	C	
STAGNO LOMBARDO	CR	B	
STAZZONA	CO	C	
STEZZANO	BG	A	
STRADELLA	PV	B	
STROZZA	BG	C	
SUARDI	PV	B	
SUEGLIO	LC	C	
SUELLO	LC	A	
SUISIO	BG	A	
SULBIATE	MB	A	
SULZANO	BS	C	
SUMIRAGO	VA	A	
SUSTINENTE	MIN	B	
SUZZARA	MIN	B	
TACENO	LC	C	
TAINO	VA	C	
TALAMONA	SO	C	
TALEGGIO	BG	C	
TARTANO	SO	C	
TAVAZZANO CON VILLAVESCO	LO	B	
TAVERNERIO	CO	A	
TAVERNOLA BERGAMASCA	BG	C	
TAVERNOLE SUL MELLA	BS	A	
TEGLIO	SO	C	
TELGATE	BG	A	
TEMU'	BS	C	
TERNATE	VA	C	
TERNO D'ISOLA	BG	A	
TERRANUOVA DEI PASSERINI	LO	B	
TICENGO	CR	B	
TIGNALE	BS	C	
TIRANO	SO	C	
TORBOLE CASAGLIA	BS	A	0,8

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
TORLINO VIMERCATI	CR	B	
TORNATA	CR	B	
TORNO	CO	C	
TORRAZZA COSTE	PV	C	
TORRE BERETTI E CASTELLARO	PV	B	
TORRE BOLDONE	BG	A	
TORRE D'ARESE	PV	B	
TORRE D'ISOLA	PV	B	
TORRE DE' BUSI	LC	C	
TORRE DE' NEGRI	PV	B	
TORRE DE' PICENARDI	CR	B	
TORRE DE' ROVERI	BG	A	
TORRE DI SANTA MARIA	SO	C	
TORRE PALLAVICINA	BG	B	
TORREVECCHIA PIA	PV	B	
TORRICELLA DEL PIZZO	CR	B	
TORRICELLA VERZATE	PV	B	
TOSCOLANO MADERNO	BS	C	
TOVO DI SANT'AGATA	SO	C	
TRADATE	VA	A	
TRAONA	SO	C	
TRAVACO' SICCOMARIO	PV	B	
TRAVAGLIATO	BS	A	0,8
TRAVEDONA - MONATE	VA	C	
TREMEZZINA	CO	C	
TREMOSINE SUL GARDA	BS	C	
TRENZANO	BS	A	0,8
TRESCORE BALNEARIO	BG	A	
TRESCORE CREMASCO	CR	B	
TRESIVIO	SO	C	
TREVIGLIO	BG	B	
TREVIOLÒ	BG	A	
TREVISIO BRESCIANO	BS	C	
TREZZANO ROSA	MI	A	
TREZZANO SUL NAVIGLIO	MI	B	
TREZZO SULL'ADDA	MI	B	
TREZZONE	CO	C	
TRIBIANO	MI	A	
TRIGOLO	CR	B	
TRIUGGIO	MB	A	
TRIVOLZIO	PV	B	
TROMELLO	PV	B	
TRONZANO LAGO MAGGIORE	VA	C	
TROVO	PV	B	
TRUCCAZZANO	MI	A	
TURANO LODIGIANO	LO	B	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
TURATE	CO	A	
TURIGO	MI	B	
UBIALE CLANEZZO	BG	C	
UBOLDO	VA	A	
UGGIATE CON RONAGO	CO	A	
URAGO D'OGLIO	BS	B	
URGNANO	BG	B	
USMATE VELATE	MB	A	
VAIANO CREMASCO	CR	B	
VAILATE	CR	B	
VAL BREMBILLA	BG	C	
VAL DI NIZZA	PV	C	
VAL MASINO	SO	C	
VAL REZZO	CO	C	
VALBONDIONE	BG	C	
VALBREMBO	BG	A	
VALBRONA	CO	C	
VALDIDENTRO	SO	C	
VALDISOTTO	SO	C	
VALEGGIO	PV	B	
VALERA FRATTA	LO	B	
VALFURVA	SO	C	
VALGANNA	VA	C	
VALGOGLIO	BG	C	
VALGREGHENTINO	LC	C	
VALLE LOMELLINA	PV	B	
VALLE SALIMBENE	PV	B	
VALLEVE	BG	C	
VALLIO TERME	BS	C	
VALMADRERA	LC	A	
VALMOREA	CO	A	
VALNEGRA	BG	C	
VALSOLDÀ	CO	C	
VALTORTA	BG	C	
VALVARRONE	LC	C	
VALVESTINO	BS	C	
VANZAGHELLO	MI	A	
VANZAGO	MI	A	
VAPRIO D'ADDA	MI	B	
VARANO BORGHI	VA	C	
VAREDO	MB	A	
VARENNA	LC	C	
VARESE	VA	A	
VARZI	PV	C	
VEDANO AL LAMBRO	MB	A	
VEDANO OLONA	VA	A	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
VEDESETA	BG	C	
VEDUGGIO CON COLZANO	MB	A	
VELESO	CO	C	
VELEZZO LOMELLINA	PV	B	
VELLEZZO BELLINI	PV	B	
VENEGONO INFERIORE	VA	A	
VENEGONO SUPERIORE	VA	A	
VENIANO	CO	A	
VERANO BRIANZA	MB	A	
VERCANA	CO	C	
VERCEIA	SO	C	
VERCURAGO	LC	C	
VERDELLINO	BG	A	
VERDELLO	BG	A	
VERDERIO	LC	A	
VERGIATE	VA	C	
VERMEZZO CON ZELO	MI	B	
VERNATE	MI	B	
VEROLANUOVA	BS	A	0,8
VEROLAVECCHIA	BS	A	0,8
VERRETTO	PV	B	
VERRUA PO	PV	B	
VERTEMATE CON MINOPRIO	CO	A	
VERTOVA	BG	C	
VERVIO	SO	C	
VESCOVATO	CR	B	
VESTONE	BS	C	
VEZZA D'OGLIO	BS	C	
VIADANA	MN	B	
VIADANICA	BG	C	
VIDIGULFO	PV	B	
VIGANO SAN MARTINO	BG	A	
VIGANO'	LC	A	
VIGEVANO	PV	B	
VIGGIU'	VA	A	
VIGNATE	MI	A	
VIGOLO	BG	C	
VILLA BISCOSSI	PV	B	
VILLA CARCINA	BS	A	0,8
VILLA CORTESE	MI	B	
VILLA D'ADDA	BG	A	
VILLA D'ALME'	BG	A	
VILLA D'OGNA	BG	C	
VILLA DI CHIAVENNA	SO	C	
VILLA DI SERIO	BG	C	
VILLA DI TIRANO	SO	C	

Comune	Provincia	Criticità idraulica	Coefficiente P
VILLA GUARDIA	CO	A	
VILLACHIARA	BS	B	
VILLANOVA D'ARDENGHI	PV	B	
VILLANOVA DEL SILLARO	LO	B	
VILLANTERIO	PV	B	
VILLANUOVA SUL CLISI	BS	C	
VILLASANTA	MB	A	
VILLIMPENTA	MN	B	
VILLONGO	BG	C	
VILMINORE DI SCALVE	BG	C	
VIMERCATE	MB	A	
VIMODRONE	MI	A	
VIONE	BS	C	
VISANO	BS	B	
VISTARINO	PV	B	
VITTUONE	MI	B	
VIZZOLA TICINO	VA	B	
VIZZOLO PREDABISSI	MI	A	
VOBARNO	BS	C	
VOGHERA	PV	B	
VOLONGO	CR	B	
VOLPARA	PV	C	
VOLTA MANTOVANA	MIN	B	
VOLTIDO	CR	B	
ZANDOBBIO	BG	A	
ZANICA	BG	A	
ZAVATTARELLO	PV	C	
ZECCONE	PV	B	
ZELBIO	CO	C	
ZELO BUON PERSICO	LO	B	
ZEME	PV	B	
ZENEVREDO	PV	C	
ZERBO	PV	B	
ZERBOLO'	PV	B	
ZIBIDO SAN GIACOMO	MI	B	
ZINASCO	PV	B	
ZOGNO	BG	C	
ZONE	BS	C	

Allegato D - Modulo per il monitoraggio dell'efficacia delle disposizioni sull'invarianza idraulica e idrologica. Contenuti indicativi.

Per ogni intervento tenuto al rispetto del principio di invarianza idraulica e idrologica di cui all'art. 3, il progettista delle opere di invarianza idraulica e idrologica, o il direttore lavori, qualora incaricato, è tenuto a compilare e inviare mediante lo specifico applicativo regionale il "Modulo per il monitoraggio dell'efficacia delle disposizioni sull'invarianza idraulica e idrologica" con i contenuti indicativi di seguito indicati.

Il Modulo va compilato a lavori conclusi, in modo da tenere conto di eventuali varianti in corso d'opera.

Contenuti indicativi del modulo per il monitoraggio dell'efficacia delle disposizioni sull'invarianza idraulica e idrologica

- Dati anagrafici del progettista delle opere di invarianza idraulica e idrologica o del direttore lavori, qualora incaricato
- Nominativo e ruolo (proprietario, utilizzatore, legale rappresentante) di chi ha conferito l'incarico di redigere il Progetto di invarianza idraulica e idrologica o di dirigere i lavori di invarianza idraulica e idrologica
- Indirizzo e dati catastali relativi all'intervento di invarianza idraulica e idrologica
- Bacino idrografico in cui ricade l'intervento
- Comune in cui ricade l'intervento e relativa area di criticità idraulica (A, B o C)
- Indicazione della casistica di cui all'art. 12, comma 1, lettera a) del regolamento (superficie interessata dall'intervento minore o uguale a 300 m² e adozione di un sistema di scarico sul suolo o negli strati superficiali del sottosuolo o in un lago o in nei fiumi Po, Ticino, Adda, Brembo, Serio, Oglio, Chiese e Mincio)
- Tipologia e denominazione del ricettore (corpo idrico naturale o artificiale, rete di fognatura o suolo/strati superficiali del sottosuolo) con indicazione dell'autorità idraulica competente o del gestore o del soggetto privato e l'eventuale codice della concessione
- Coordinate UTM-WGS84-32 del punto di scarico nel ricettore
- Dati relativi all'intervento (superficie interessata dall'intervento, superficie scolante impermeabile dell'intervento, portata massima di scarico a monte delle strutture di invarianza idraulica, portata massima di scarico utilizzata per il dimensionamento degli interventi, volume totale necessario)
- Tipologia della/e opera/e d'invarianza idraulica e idrologica realizzata/e (area di laminazione e infiltrazione di tipo verde, vasca laminazione impermeabile e/o coperta, trincee, pozzi drenanti, tetti verdi, ecc), descrizione e relative informazioni dimensionali
- Tempo massimo di svuotamento delle opere realizzate
- Nel caso di monetizzazione di cui all'art. 16, sussistenza delle condizioni in esso indicate e valore della monetizzazione

Allegato E - Asseverazione del professionista in merito alla conformità del progetto ai contenuti del regolamento

In caso di intervento richiedente le misure di invarianza idraulica e idrologica che ricade nel territorio di più Comuni, la presente asseverazione può essere modificata, ove necessario, per tenere in considerazione tale caratteristica.

DICHIARAZIONE SOSTITUTIVA DELL'ATTO DI NOTORIETÀ (Articolo 47 D.P.R. 28 dicembre 2000, n. 445)

La/Il sottoscritta/o
nata/o a il
residente a
in vian.
iscritta/ all' [] Ordine [] Collegio dei della Provincia di
Regione n.
incaricata/o dal/i signor/i in qualità di
[] proprietario, [] utilizzatore [] legale rappresentante del
di redigere il Progetto di invarianza idraulica e idrologica per l'intervento di
.....
sito in Provincia diComune di
in via/piazzan.
Foglio n. Mappale n.

In qualità di tecnico abilitato, qualificato e di esperienza nell'esecuzione di stime idrologiche e calcoli idraulici

Consapevole che in caso di dichiarazione mendace sarà punito ai sensi del Codice Penale secondo quanto prescritto dall'articolo 76 del succitato D.P.R. 445/2000 e che, inoltre, qualora dal controllo effettuato emerga la non veridicità del contenuto di taluna delle dichiarazioni rese, decadrà dai benefici conseguenti al provvedimento eventualmente emanato sulla base della dichiarazione non veritiera (articolo 75 D.P.R. 445/2000);

DICHIARA

- che il comune di, in cui è sito l'intervento, ricade all'interno dell'area:
 - A: ad alta criticità idraulica
 - B: a media criticità idraulica
 - C: a bassa criticità idraulica
- che la superficie interessata dall'intervento è minore o uguale a 300 m² e che si è adottato un sistema di scarico sul suolo, purché non pavimentato, o negli strati superficiali del sottosuolo e non in un ricettore, salvo il caso in cui questo sia costituito da laghi o dai fiumi Po, Ticino, Adda, Brembo, Serio, Oglio, Chiese e Mincio (art. 12, comma 1, lettera a)

- che per il dimensionamento delle opere di invarianza idraulica e idrologica è stata considerata la portata massima ammissibile per l'area (A/B/C), pari a:
 - 10 l/s per ettaro di superficie interessata dall'intervento
 - 20 l/s per ettaro di superficie interessata dall'intervento
 - l/s per ettaro di superficie interessata dall'intervento, derivante da limite imposto dall'Ente gestore del ricettore (.....)
- che l'intervento prevede l'infiltrazione come mezzo per gestire le acque pluviali (in alternativa o in aggiunta all'allontanamento delle acque verso un ricettore), e che la portata massima infiltrata dai sistemi di infiltrazione realizzati è pari a l/s, che equivale ad una portata infiltrata pari a l/s per ettaro di superficie interessata dall'intervento
- che, in relazione all'effetto potenziale dell'intervento e alla criticità dell'ambito territoriale (rif. articolo 9 del regolamento), l'intervento ricade nella classe di intervento:
 - Classe "0"
 - Classe "1" Impermeabilizzazione potenziale bassa
 - Classe "2" Impermeabilizzazione potenziale media
 - Classe "3" Impermeabilizzazione potenziale alta
- che l'intervento ricade nelle tipologie di applicazione dei requisiti minimi di cui:
 - all'articolo 12, comma 1 del regolamento
 - all'articolo 12, comma 2 del regolamento
- di aver redatto il Progetto di invarianza idraulica e idrologica con i contenuti di cui:
 - all'articolo 10, comma 1 del regolamento (casi in cui non si applicano i requisiti minimi)
 - all'articolo 10, comma 2 e comma 3, lettera a) del regolamento (casi in cui si applicano i requisiti minimi)
- di aver redatto il Progetto di invarianza idraulica e idrologica conformemente ai contenuti del regolamento, con particolare riferimento alle metodologie di calcolo di cui all'articolo 11 del regolamento;

ASSEVERA

- che il Progetto di invarianza idraulica e idrologica previsto dal regolamento (articoli 6 e 10 del regolamento) è stato redatto nel rispetto dei principi di invarianza idraulica e idrologica, secondo quanto disposto dal Piano di Governo del Territorio, dal Regolamento Edilizio e dal Regolamento Regionale;
- che le opere di invarianza idraulica e idrologica progettate garantiscono il rispetto della portata massima ammissibile nel ricettore prevista per l'area in cui ricade il Comune ove è ubicato l'intervento;
- che la portata massima scaricata su suolo dalle opere realizzate è compatibile con le condizioni idrogeologiche locali e che a tal fine è stata consultata anche la Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio (PGT);
- che l'intervento ricade nell'ambito di applicazione dell'art. 12, comma 1, lettera a) del regolamento;

- che l'intervento ricade nell'ambito di applicazione della monetizzazione (art. 16 del regolamento), e che pertanto è stata redatta la dichiarazione motivata di impossibilità di cui all'art. 6, comma 1, lettera d) del regolamento, ed è stato versato al comune/ai comuni l'importo complessivo di €;

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti di cui all'articolo 13 del Dlgs 196 del 30 giugno 2003, che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

.....
(luogo e data)

Il Dichiarante

.....

Ai sensi dell'articolo 38, D.P.R. 445 del 28 dicembre 2000, così come modificato dall'articolo 47 del d. lgs. 235 del 2010, la dichiarazione è sottoscritta dall'interessato in presenza del dipendente addetto ovvero sottoscritta e presentata unitamente a copia fotostatica non autenticata di un documento di identità del sottoscrittore. La copia fotostatica del documento è inserita nel fascicolo. La copia dell'istanza sottoscritta dall'interessato e la copia del documento di identità possono essere inviate per via telematica.
La mancata accettazione della presente dichiarazione costituisce violazione dei doveri d'ufficio (articolo 74 comma D.P.R. 445/2000). Esente da imposta di bollo ai sensi dell'articolo 37 D.P.R. 445/2000.

Allegato F – Metodologie di calcolo dei processi di infiltrazione

1.1 ALCUNI RICHIAMI TEORICI

L'infiltrazione è definita come la portata per unità di superficie che si infiltra nel sottosuolo ed è misurata, generalmente, in mm/ora in analogia all'intensità di pioggia.

La variazione dell'infiltrazione nel tempo può essere espressa mediante l'adozione del modello di Horton che, in base a numerose risultanze sperimentali, individua una legge decrescente di tipo esponenziale (Figura 1). Tale legge esponenziale indica che l'infiltrazione $f(t)$ decresce da un valore massimo iniziale f_0 , che è legato al tipo di suolo ed al suo stato di imbibizione all'inizio dell'evento, ad un valore minimo asintotico f_c , che egualgia la conducibilità idraulica a saturazione K_s la quale è legata alle caratteristiche di porosità del terreno, alla stratigrafia del sottosuolo, alla presenza e distanza dalla falda.

La rapidità dell'esponenziale, misurata dal parametro k , con cui l'infiltrazione tende al valore asintotico è anch'essa legata al tipo di suolo. L'andamento esponenziale risponde bene all'osservazione sperimentale che mostra come durante il processo di infiltrazione il suolo sia soggetto ad un progressivo fenomeno di saturazione che limita progressivamente il valore dell'infiltrazione.

È da sottolineare che l'infiltrazione segue tale andamento esponenziale quando la superficie di infiltrazione è alimentata da acqua in misura sovrabbondante rispetto all'infiltrazione stessa; in tal caso essa rappresenta propriamente la "capacità di infiltrazione" essendo commisurata al valore massimo a cui può arrivare l'infiltrazione istante per istante. Se, invece, l'adacquamento è minore della capacità di infiltrazione, cioè il suolo presenta nell'istante considerato una capacità di infiltrazione maggiore della portata idrica in arrivo sulla superficie, l'infiltrazione non può che assorbire la portata d'acqua disponibile mantenendosi quindi ad un valore minore della capacità di infiltrazione.

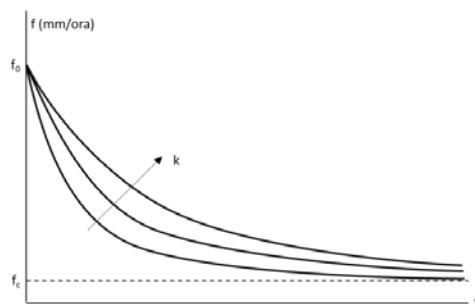


Figura 1 - Legge di Horton. Andamenti della capacità di infiltrazione in presenza di sovrabbondanza di acqua sulla superficie disperdente

Per quanto riguarda i valori da attribuire ai parametri della legge di Horton, in Tabella 1 sono riportati alcuni casi (Terstriep e Stall, 1974) riferiti a suoli coperti da erba e per le classi idrologiche di suolo definite dallo statunitense Soil Conservation Service, SCS (1956), ora Natural Resources Conservation Service.

Ciascuna classe presenta un differente grado di permeabilità ovvero di capacità di generare deflusso come di seguito descritto:

Classe A Scarsa potenzialità di deflusso: comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.

Classe B Potenzialità di deflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.

Classe C Potenzialità di deflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidici, anche se meno che nel gruppo D; il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.

Classe D Potenzialità di deflusso molto alta: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Tabella 1 - Parametri delle curve di Horton per le classi idrologiche di suoli proposti dal SCS (modificato da Terstriep e Stall 1974)

Classe suolo	f_0 [mm/ora]	f_c [mm/ora]	k [ore $^{-1}$]
A	250	25.4	2
B	200	12.7	2
C	125	6.3	2
D	76	2.5	2

Come si vede, la capacità di infiltrazione a lungo termine f_c varia per i diversi tipi di suolo tra circa 20 mm/ora e circa 2 mm/ora, valori che, cambiando unità di misura 1,0 mm/ora = 2,778 l/(s·ha), corrispondono rispettivamente a portate di infiltrazione di circa 55 l/s e circa 5,5 l/s per superficie di infiltrazione.

Considerando che una pioggia intensa di elevato tempo di ritorno può raggiungere, durante la fase di picco, intensità anche maggiori di 200 mm/ora, ne consegue che l'estensione della superficie disperdente deve essere pari al minimo a 10 volte la superficie scolante impermeabile, per i suoli più permeabili di classe A, e al minimo 100 volte per i suoli meno permeabili di classe D.

L'eventuale surplus idrico che non infiltra nel terreno andrà quindi gestito attraverso la realizzazione di volumi di invaso che, nel caso di opere a verde, può essere realizzato attraverso la modellazione della superficie del terreno al fine di creare ribassamenti del piano superficiale.

1.2 INDICAZIONI PROGETTUALI

Per le finalità di progettazione, il calcolo della portata infiltrata si basa sul determinare il tasso di infiltrazione, $v_{i,uns}$ (m/s), attraverso la formula di Darcy, considerando che la conducibilità idraulica del suolo nelle fasi di infiltrazione sia rappresentata da circa la metà della conducibilità in condizioni di saturazione.

Il tasso di infiltrazione è quindi pari a:

$$v_{i,uns} = \frac{K_s}{2} I_{hy}$$

dove K_s è la conducibilità idraulica del suolo a saturazione (m/s) e I_{hy} è il gradiente idraulico (m/m).

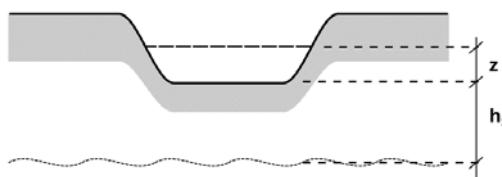


Figura 2: altezze di riferimento per il calcolo del gradiente idraulico nel caso di una generica opera di infiltrazione.

Con riferimento alla Figura 2, il gradiente idraulico è calcolato come:

$$\text{eq. 1} \quad I_{hy} = \frac{h_s + z}{h_s + z/2} \sim 1 \text{ se } z \ll h_s$$

dove h_s (m) è la distanza della falda dal fondo dell'opera di infiltrazione, z (m) è lo spessore dello strato saturo. Quest'ultimo termine, se piccolo rispetto alla profondità della falda, consente di considerare I_{hy} pari a 1.

La portata infiltrata, Q_{inf} (m^3/s), sarà quindi data dall'equazione:

$$\text{eq. 2} \quad Q_{inf} = v_{i,uns} A_i = \frac{k_s}{2} A_i$$

dove A_i è l'area (m^2) attraverso cui avviene il processo di infiltrazione, comprendendo sia quella basale che laterale all'opera di infiltrazione. Con riferimento ad un elemento di infiltrazione di lunghezza unitaria e sezione rettangolare (Figura 3), si considera che metà dell'altezza dello stesso sia sufficientemente rappresentativa della fase di riempimento dell'elemento e che il fronte di infiltrazione dato dalla superficie laterale sia circa $\frac{1}{4}$ dell'altezza dell'elemento infiltrante. La larghezza della superficie effettivamente oggetto di infiltrazione, b_{inf} quindi pari a:

$$b_{inf} = b + \frac{h}{4} + \frac{h}{4}$$

dove b è la larghezza dell'elemento di infiltrazione.

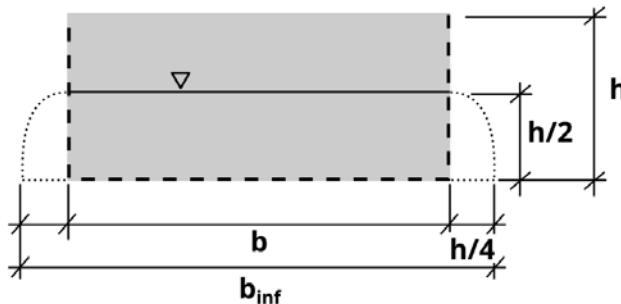


Figura 3: schema delle dimensioni di riferimento per la stima della superficie permeabile (modificato da DWA, 2005)

Lo schema generale può essere quindi applicato alle diverse tipologie di opere di infiltrazione con alcune specificità: ad esempio, nel caso di estese aree di laminazione, in genere, si considera trascurabile l'altezza dell'opera di infiltrazione oppure, nel caso di pozzi di infiltrazione, si omette dal calcolo la superficie basale dell'opera stessa poiché quest'ultima tenderà nel tempo a ridurre la propria capacità di infiltrazione a seguito dei fenomeni di occlusione.

Aldilà delle specificità di ciascun caso, le semplificazioni adottate per necessità di dimensionamento devono sempre essere in favore di sicurezza.

I valori di K_s per le varie tipologie di suoli sono in genere riportati nella manualistica tecnica. A titolo di esempio, è inoltre possibile usare il valore minimo asintotico f_c che residua dopo che sia sostanzialmente terminato il processo di saturazione del suolo (vedi Tabella 1). In alternativa, è comunque possibile avvalersi dei valori di conducibilità ottenibili mediante prove in situ (con pozzetti superficiali, infiltrometro a disco o ad anello, nei fori di sondaggio (Lefranc), piezocono (CPTU), dilatometro (DTM), prove di pompaggio).

1.3 FATTORI DA CONSIDERARE NELLA PROGETTAZIONE DELLE OPERE DI INFILTRAZIONE

In termini generali, sono diversi i fattori da considerare per la definizione di un'opera di infiltrazione. Di seguito ne sono riportati i principali. Inoltre, il documento semplificato di rischio idraulico ovvero lo studio comunale di rischio idraulico se previsto, riportano le aree in cui è vietata la realizzazione delle opere di infiltrazione ovvero dove è consentita ma con limitazioni.

Qualità delle acque

Il primo fattore da considerare nella progettazione delle opere di infiltrazione è la qualità delle acque che si intende trattare. A seconda che queste siano di buona qualità, cioè senza carichi inquinanti significativi, di

qualità tollerabile, cioè che richiedono solo alcuni accorgimenti tecnici, o di qualità intollerabile, cioè che necessitano di un trattamento depurativo spinto, si potrà scegliere se e quale sistema di infiltrazione utilizzare. I fattori che determinano la qualità delle acque piovane sono il grado di inquinamento dell'aria e la presenza di inquinanti, per deposito o asportazione, presenti sulle superfici di dilavamento. L'acqua meteorica ha di per sé una certa concentrazione di inquinanti (cloruri, solfati nitrati, potassio, ammonio, calcio, magnesio, metalli pesanti e composti organici) che possono raggiungere valori significativi in ambienti fortemente inquinati. Le stesse superfici di scorrimento possono liberare elementi dannosi (ad es. metalli pesanti) ovvero favorire la dispersione di oli e altri composti aromatici provenienti dal traffico veicolare. Conseguentemente, la scelta se è possibile preferire un sistema disperdente oppure trattare le acque nel sistema fognario dovrà tenere conto del contesto generale in cui i deflussi si generano secondo le norme vigenti. Le soluzioni "a verde" ovvero che prevedono uno strato vegetato alla sommità (aree verdi filtranti, fossi di infiltrazioni e trincee drenanti) offrono la possibilità di poter trattare in loco una significativa quota del carico inquinante (fino all'88% del carico inquinante secondo Purvis et al., 2018).

Tipo di suolo

Il secondo fattore da considerare è la presenza di strati di suolo con scarse capacità di infiltrazione. Il parametro da considerare è la conducibilità idraulica satura. Indicativamente, un suolo adatto a opere di infiltrazione dovrebbe avere una conducibilità idraulica satura compresa tra 10^{-3} e 10^{-6} m/s (Figura 3). Valori più alti hanno un effetto positivo sulla capacità disperdente delle opere di infiltrazione ma non garantiscono i tempi necessari affinché il suolo stesso esplenti la funzione di filtro, compromettendo la qualità delle acque sotterranee. Valori di conducibilità più bassi, viceversa, non consentono lo svuotamento dell'opera di infiltrazione in tempi compatibili con le necessità tecniche (ad es. 48 ore) e favoriscono fenomeni di stagnazione in superficie. Indicativamente, i suoli sabbiosi e sabbio limosi sono i più adatti allo scopo. Occorre tuttavia verificare se, lungo il profilo pedologico non esistano strati con caratteristiche di impermeabilità maggiori, tali da compromettere la funzionalità dell'opera.

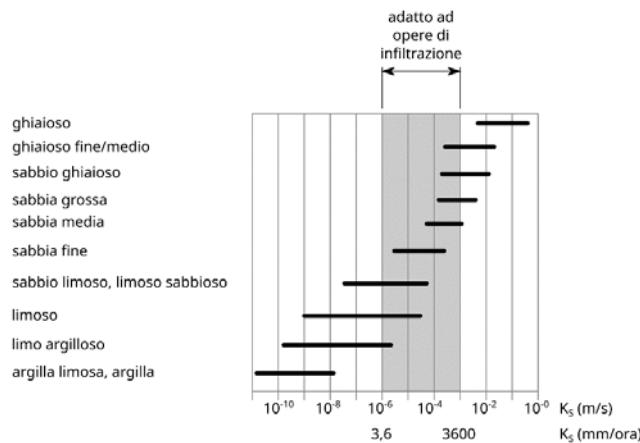


Figura 4: conducibilità idraulica per diverse classi tessiturali e condizioni ottimali di riferimento (modificato da DWA 2005)

Profondità della falda

Quanto maggiore è la profondità della falda, migliore sarà la capacità di accumulo dell'opera di infiltrazione, la velocità di svuotamento e la rimozione di inquinanti. Nel caso di falde superficiali (profondità minori ad un metro), sono significativi i flussi capillari che vanno a ridurre il volume dei vuoti effettivamente disponibile

per la laminazione e il tasso di infiltrazione.

Stabilità dell'area

Nel posizionamento dell'opera di infiltrazione si dovrà prestare attenzione alla conformazione del terreno. Su terreni acclivi, la formazione anche temporanea di strati di suolo sastro favorisce l'innescarsi di fenomeni franosi. Occorrerà inoltre valutare la presenza di fenomeni geologici particolari come formazioni carsiche o erosioni sotterranee (occhi pollini).

Aree precluse all'infiltrazione

Occorrerà inoltre verificare se l'area in cui si intende installare l'opera di infiltrazione non sia interdetta allo scavo per la presenza di sottoservizi ovvero terreni contaminanti. Sono inoltre impossibilitate alla realizzazione delle opere di infiltrazione le fasce di rispetto dei pozzi ad uso potabile.

Interazione con gli edifici e altri manufatti

Le opere di infiltrazione dovranno avere interazione minima con gli altri manufatti presenti nell'area oggetto di intervento per evitare interazioni tra il fronte di infiltrazione e le opere stesse.

1.4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

DWA (2005). Planning, construction and operation of facilities for the percolation of precipitation (Stand: April 2005.). Hennef (Sieg): DWA.

Purvis, R., Winston, R., Hunt, W., Lipscomb, B., Narayanaswamy, K., McDaniel, A., et al. (2018). Evaluating the Water Quality Benefits of a Bioswale in Brunswick County, North Carolina (NC), USA. *Water*, 10(2), 134. <https://doi.org/10.3390/w10020134>

SCS (1956). Hydrology, National Engineering Handbook, Supplement A, Section 4, Chapter 10, Soil Conservation Service, U.S.D.A., Washington, D.C.

Terstriep, M. L., Stall, J. B. (1974). The Illinois Urban Drainage Area Simulator, ILLUDAS (No. 58). Urbana: Illinois State Water Survey Department of registration and education.

Allegato G – Metodologie di calcolo dei volumi di laminazione

Il processo di dimensionamento delle opere di invarianza idraulica e, in particolare, di quelle che prevedono la realizzazione di un volume di laminazione prevede:

1. la determinazione delle caratteristiche della pioggia di progetto (curve di possibilità pluviometrica)
2. il calcolo dell'idrogramma all'ingresso dell'opera di laminazione
3. il calcolo del volume di laminazione
4. la verifica del tempo di svuotamento

Nei successivi paragrafi sarà presentata la procedura prevista per l'applicazione del metodo delle sole piogge. La stessa, con gli opportuni approfondimenti e con la scelta di modelli più accurati, è di norma seguita anche nel caso della procedura dettagliata.

1.1 CALCOLO DEL VOLUME DI INVASO PER LA LAMINAZIONE

1.1.1 Richiami teorici

Sono qui esposti alcuni richiami teorici inerenti il processo di laminazione. Per ogni maggior dettaglio si rimanda ai numerosi testi e manuali della letteratura tecnica di costruzioni idrauliche.

Il processo di laminazione nel tempo t è descritto matematicamente dal seguente sistema di equazioni:

- equazione differenziale di continuità:

$$Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{dW(t)}{dt} \quad (1)$$

- legge di efflusso che governa le opere preposte allo scarico dall'invaso o in generale allo svuotamento dell'invaso:

$$Q_u = Q_u[H(t)] \quad (2)$$

- curva d'invaso, esprimente il legame geometrico tra il volume invasato ed il battente idrico H nell'invaso:

$$W = W[H(t)] \quad (3)$$

dove $Q_e(t)$ rappresenta la portata entrante, $Q_u(t)$ quella complessivamente uscente dall'insieme delle opere di scarico e/o di infiltrazione e/o di riuso, $W(t)$ il volume invasato, $H(t)$ il battente idrico nell'invaso.

Nota l'onda di piena entrante $Q_e(t)$ e note le funzioni (2) e (3) riferite alle effettive caratteristiche geometriche ed idrauliche della bocca o delle bocche di scarico (eq. 2) ed all'effettiva geometria dell'invaso (eq. 3), l'integrazione del sistema (1) (2) (3) consente di calcolare le tre funzioni incognite $Q_u(t)$, $H(t)$ e $W(t)$.

Il calcolo viene riferito ad un evento di piena entrante $Q_e(t)$ selezionato come "evento di progetto" e cercando le soluzioni dimensionali affinché la portata uscente $Q_u(t)$ sia sempre inferiore o al massimo uguale al preassegnato limite massimo $Q_{u,\max}$ indicato nell'articolo 8 del regolamento.

Il sistema composto dalle tre equazioni è integrabile in forma chiusa solo quando le relazioni (2) e (3) e l'onda di piena in ingresso all'invaso siano rappresentabili mediante funzioni analitiche. Più frequentemente, la portata in ingresso all'invaso è una funzione non esprimibile analiticamente, come nel caso di un'onda di piena conseguente ad una pioggia reale; oppure il legame volume invasato battente idrico (5) può essere notevolmente complicato a causa della geometria dell'invaso. Infine, anche la legge di efflusso può essere non facilmente rappresentabile, come ad esempio si verifica nel caso in cui si hanno diversi dispositivi in uscita, di caratteristiche differenti e predisposti per entrare in funzione a diverse quote idriche. In tutti questi casi il sistema delle equazioni (1), (2), (3) deve essere integrato numericamente alle differenze finite.

Una volta risolto il sistema di equazioni e quindi calcolate le funzioni incognite $Q_u(t)$, $H(t)$ e $W(t)$, se ne possono individuare i rispettivi valori massimi $Q_{u,\max}$, H_{\max} e W_{\max} , verificando che essi siano compatibili con i vincoli assegnati.

Tali valori massimi si verificano nella fase di decrescita della piena entrante e in particolare nell'istante in cui la portata in uscita Q_u diventa pari alla portata entrante Q_e ; infatti quando tali due portate coincidono, l'equazione di continuità (1) mostra che nello stesso istante vale $dW/dt = 0$, che indica la condizione di

massimo W_{\max} della funzione $W(t)$, con conseguente condizione di massimo anche delle funzioni $Q_u(t)$ e $H(t)$ dati i legami biunivoci (2) e (3) che legano tali funzioni al volume di invaso W .

Riportando in un grafico le onde entranti e uscenti da un invaso generico, il massimo volume d'invaso W_{\max} è dato dall'area compresa tra le due curve fino al raggiungimento della portata uscente massima $Q_{u,\max}$ (Figura 2).

Si osserva che l'effetto di laminazione consiste sia nella riduzione della portata al colmo uscente $Q_{u,\max}$ rispetto alla portata al colmo entrante $Q_{e,\max}$, sia nello sfasamento temporale tra i due colmi con un benefico rallentamento complessivo della piena uscente rispetto a quella entrante.

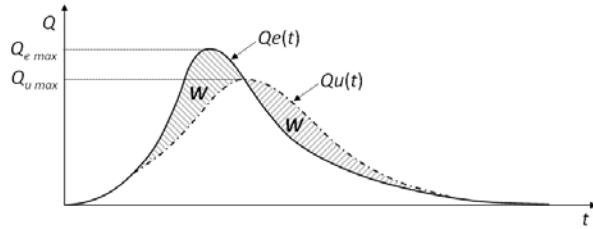


Figura 1 - Rappresentazione schematica del processo di laminazione di un invaso in linea

Particolarmente significativo è il caso semplificato di "laminazione ottimale", intesa come la laminazione che si ottiene quando la portata uscente è costante durante la fase di colmo (Figura 3). È immediato osservare che, preassegnato il valore $Q_{u,\max}$ e mantenendo costantemente pari ad esso la portata uscente, è minimo il volume di laminazione W_0 necessario; ovvero, a parità di volume di invaso disponibile W_0 , è minimo il conseguente valore di $Q_{u,\max}$ ottenendosi così il massimo effetto di laminazione.

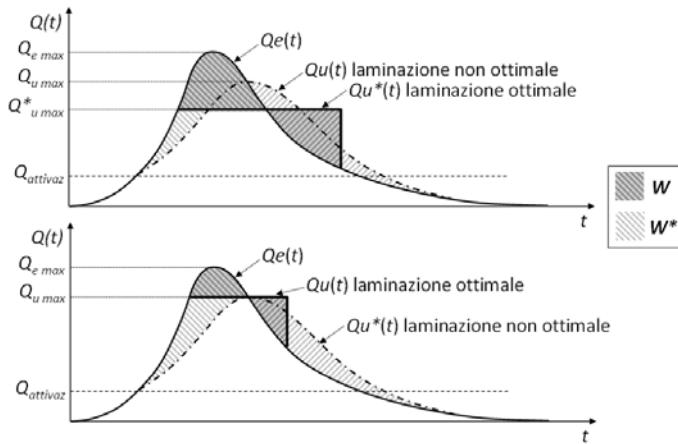


Figura 2 - Laminazione ottimale a parità di volume invasato W (sopra) e a parità di portata uscente massima $Q_{u,\max}$ (sotto)

Questo schema di regolazione teorica è raggiungibile in modo approssimato quando l'uscita è governata da un impianto di sollevamento avente portata $Q_{u,\max}$ o con opportuni automatismi di regolazione degli scarichi, come i regolatori di portata che modificano la luce d'efflusso in funzione del battente in modo da mantenere costante la portata uscente $Q_{u,\max}$.

A seconda della classe di permeabilità dell'intervento, è richiesta l'applicazione del "metodo delle sole piogge" oppure della "procedura dettagliata". Indipendentemente dalla metodologia applicata, occorrerà fare riferimento alle "Curve di possibilità pluviometrica" per la definizione dei parametri caratteristici dalla pioggia di progetto.

1.1.2 Curve di possibilità pluviometrica

Il servizio di mappa presente sul sito <https://idro.arpalombardia.it/it/map/sidro/> di ARPA Lombardia fornisce i parametri della curva di possibilità pluviometrica valida per ogni località della Lombardia espressa nella forma:

$$h = a_1 \cdot w_T \cdot D^n \quad (4)$$

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left(1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right) \quad (5)$$

in cui h è l'altezza di pioggia, D è la durata, a_1 è il coefficiente pluviometrico orario, w_T è il coefficiente probabilistico legato al tempo di ritorno T , n è l'esponente della curva (parametro di scala), α , ε , k sono i parametri delle leggi probabilistiche GEV adottate.

Poiché tali parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica riportati da ARPA Lombardia si riferiscono generalmente a durate di pioggia maggiori dell'ora, per le durate inferiori all'ora si possono utilizzare, in carenza di dati specifici, tutti i parametri indicati da ARPA tranne il parametro n per il quale si indica il valore $n = 0,5$ in aderenza agli standard suggeriti dalla letteratura tecnica idrologica.

1.1.3 Il metodo delle sole piogge

1.1.3.1 Richiami teorici

Il "Metodo delle sole piogge" si basa sulle seguenti assunzioni:

L'**onda entrante** dovuta alla precipitazione piovosa $Q_e(t)$ nell'invaso di laminazione è un'onda rettangolare avente durata D e portata costante Q_e pari al prodotto dell'intensità media di pioggia, dedotta dalla curva di possibilità pluviometrica valida per l'area oggetto di calcolo in funzione della durata di pioggia, per la superficie scolante impermeabile dell'intervento afferente all'invaso; con questa assunzione si ammette che, data la limitata estensione del bacino scolante, sia trascurabile l'effetto della trasformazione afflussi-deflussi operata dal bacino e dalla rete drenante afferente all'invaso. Conseguentemente l'onda entrante nell'invaso coincide con la precipitazione piovosa sulla superficie scolante impermeabile dell'intervento. La portata costante entrante è quindi pari a:

$$Q_e = S \cdot \phi \cdot a \cdot D^{n-1} \quad (6)$$

e il volume di pioggia complessivamente entrante è pari a:

$$W_e = S \cdot \phi \cdot a \cdot D^n \quad (7)$$

in cui S è la superficie scolante del bacino complessivamente afferente all'invaso, ϕ è il coefficiente di deflusso medio ponderale del bacino medesimo calcolabile con i valori standard esposti nell'articolo 11, comma 2, lettera d) del regolamento (quindi $S \cdot \phi$ è la superficie scolante impermeabile dell'intervento), D è la durata di pioggia, $a = a_1 w_T$ e n sono i parametri della curva di possibilità pluviometrica (desunti da ARPA Lombardia come esposto al paragrafo 1 del presente allegato) espressa nella forma:

$$h = a \cdot D^n = a_1 \cdot w_T \cdot D^n \quad (8)$$

L'**onda uscente** $Q_u(t)$ è anch'essa un'onda rettangolare caratterizzata da una portata costante $Q_{u,lim}$ (laminazione ottimale) e commisurata al limite prefissato in aderenza alle indicazioni sulle portate massime ammissibili di cui all'articolo 8 del regolamento in caso di smaltimento dei volumi invasati con scarico in corpo idrico superficiale o con scarico in fognatura;

La portata costante uscente è quindi pari a:

$$Q_{lim} = S \cdot u_{lim} \quad (9)$$

e il volume complessivamente uscito nel corso della durata D dell'evento è pari a:

$$W_u = S \cdot u_{lim} \cdot D \quad (10)$$

in cui u_{lim} la portata specifica limite ammissibile allo scarico, di cui all'articolo 8 comma 1 del regolamento.

L'onda entrante in arrivo nell'opera di laminazione o nell'insieme delle opere di laminazione può essere calcolata in via semplificata adottando i valori standard del coefficiente di deflusso indicati all'art. 9 del regolamento, in luogo del calcolo dell'infiltrazione come da Allegato F.

Il coefficiente pari a 0,7 viene indicato come di riferimento anche per i giardini pensili, i tetti verdi e le aree verdi sovrapposte a nuove solette comunque costituite. Infatti, anche se è indubbia l'influenza positiva dei tetti verdi nei riguardi della formazione dei deflussi, nel breve transitorio di una pioggia eccezionale il tetto verde non determina perdite idrologiche apprezzabili. Qualora, peraltro, il tetto verde sia costruito con le dovute tecnologie, esso svolge un'azione di ritenzione idrica che può essere tenuta in conto come componente dei necessari volumi di laminazione.

Qualora sia prevista infiltrazione nel terreno come scarico in alternativa o aggiunta a quello a corpo idrico superficiale o fognatura, la portata infiltrata Q_{inf} dovrà essere calcolata utilizzando un'opportuna formula di calcolo definita da letteratura (si veda Allegato F) e sommata a quella limite Q_{lim} .

Sulla base di tali ipotesi semplificative il volume di laminazione è quindi dato, per ogni durata di pioggia considerata, dalla differenza tra i volumi dell'onda entrante e dell'onda uscente calcolati al termine della durata di pioggia. Conseguentemente, il volume di dimensionamento della vasca è pari al volume critico di laminazione, cioè quello calcolato per l'evento di durata critica che rende massimo il volume di laminazione.

Quindi, il volume massimo ΔW che deve essere trattenuto nell'invaso di laminazione al termine dell'evento di durata generica D (invaso di laminazione) è pari a:

$$\Delta W = W_e - W_u = S \cdot \phi \cdot a \cdot D^n - S \cdot u_{lim} \cdot D \quad (11)$$

La figura seguente mostra graficamente la curva $W_e(D)$, concava verso l'asse delle ascisse, in aderenza alla curva di possibilità pluviometrica, e la retta $W_u(D)$ e indica come la distanza verticale ΔW tra tali due curve ammetta una condizione di massimo che individua così l'evento di durata D_w critica per la laminazione.

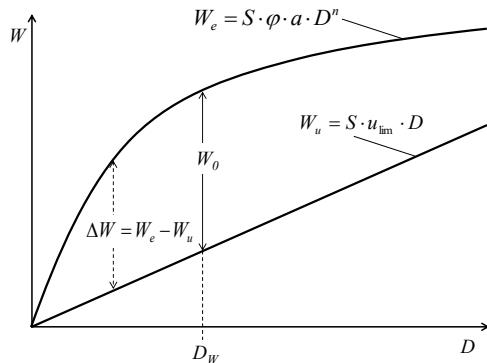


Figura 3 Individuazione con il metodo delle sole piogge dell'evento critico D_w e del corrispondente volume critico W_0 di laminazione, ovvero quello che massimizza il volume invaso.

Esprimendo matematicamente la condizione di massimo, ossia derivando rispetto alla durata D la differenza $\Delta W = W_e - W_u$, si ricava la durata critica D_w per l'invaso di laminazione e di conseguenza il volume di laminazione W_0 :

$$D_w = \left(\frac{Q_{u,lim}}{S \cdot \phi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (12)$$

$$W_0 = S \cdot \phi \cdot a \cdot D_w^n - Q_{u,lim} \cdot D_w \quad (13)$$

Se si considerano per le varie grandezze le unità di misura solitamente utilizzate nella pratica:

W_0 in $[m^3]$

S in $[ha]$

a in $[mm/ora^n]$

θ in $[ore]$

D_w in $[ore]$

$Q_{u,lim}$ in $[l/s]$

le equazioni (12) e (13) diventano:

$$D_w = \left(\frac{Q_{u,lim}}{2.78 \cdot S \cdot \phi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (12')$$

$$W_0 = 10 \cdot S \cdot \phi \cdot a \cdot D_w^n - 3.6 \cdot Q_{u,lim} \cdot D_w \quad (13')$$

Introducendo in esse la portata specifica di scarico $u_{lim} = Q_{u,lim}/S$ (in l/s per ettaro) e il volume specifico di invaso $w_0 = W_0/S$ (in m³/ha) si ha:

$$D_w = \left(\frac{u_{lim}}{2.78 \cdot \phi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (12'')$$

$$w_0 = 10 \cdot \phi \cdot a \cdot D_w^n - 3.6 \cdot u_{lim} \cdot D_w \quad (13'')$$

Si osservi che il parametro n (esponente della curva di possibilità pluviometrica) da utilizzare nelle equazioni precedenti deve essere congruente con la durata D_w risultante dal calcolo, tenendo conto che il valore di n è generalmente diverso per le durate inferiori all'ora, per le durate tra 1 e 24 ore e per le durate maggiori di 24 ore.

1.1.3.2 Diagrammi esemplificativi

Nei diagrammi seguenti (Figura 5 ÷ Figura 12) sono riportate le funzioni (12'') e (13'') con riferimento a:

- valori del parametro a = 40, 60, 80, 100 mm/oraⁿ (salvo ubicazioni particolari, tali valori coprono l'intervallo delle altezze di pioggia orarie per tempi di ritorno fino a 100 anni per una larga parte della Lombardia);
- valori del parametro n = 0,15 ÷ 0,5;
- valori della portata limite specifica uscente $u_{lim} = 10, 20$ l/s per ettaro;
- valori del coefficiente di deflusso $\phi = 0,1, 0,3, 0,5, 0,7, 1,0$.

Tali diagrammi, nei quali sono oscurati i campi pluviometricamente inusuali (nei quali si ha contemporaneamente una durata $D_w > 24$ ore e n > 0,30 oppure una durata $D_w > 1$ ora e n > 0,4), indicano che:

- sia la durata critica D_w che il volume specifico w_0 sono crescenti in funzione sia di n sia del coefficiente di deflusso ϕ .
- la durata critica D_w è generalmente maggiore dell'ora;
- il volume specifico di invaso per $\phi = 1$ (aree totalmente impermeabili) raggiunge valori che variano da circa 600 m³/ha a circa 1.800 m³/ha al variare di a da 40 mm/oraⁿ a 100 mm/oraⁿ.

Il professionista può quindi ricavare dalle curve sotto riportate la durata critica D_w (ore) e il volume specifico di invaso di laminazione w_0 (m³/ha) caratterizzanti il caso di interesse. Per valori dei parametri intermedi tra quelli dei grafici tali grandezze possono essere dedotte per interpolazione lineare o, meglio, utilizzando direttamente le formule (12'') e (13'').

Figura 4 – Grafici della durata Dw (eq. 12'') e del volume specifico critico di invaso wo (eq. 13'') in funzione di n, per $a=40 \text{ mm/ora}$ e per $u = 10 \text{ l/s per ettaro}$

$a = 40 \text{ mm/ora}^n; u = 10 \text{ l/s per ettaro}$

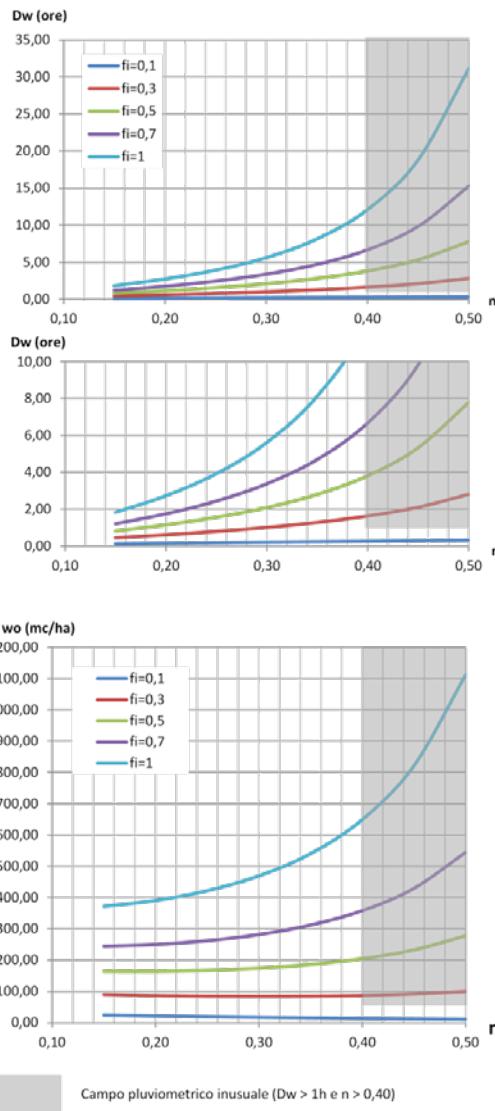
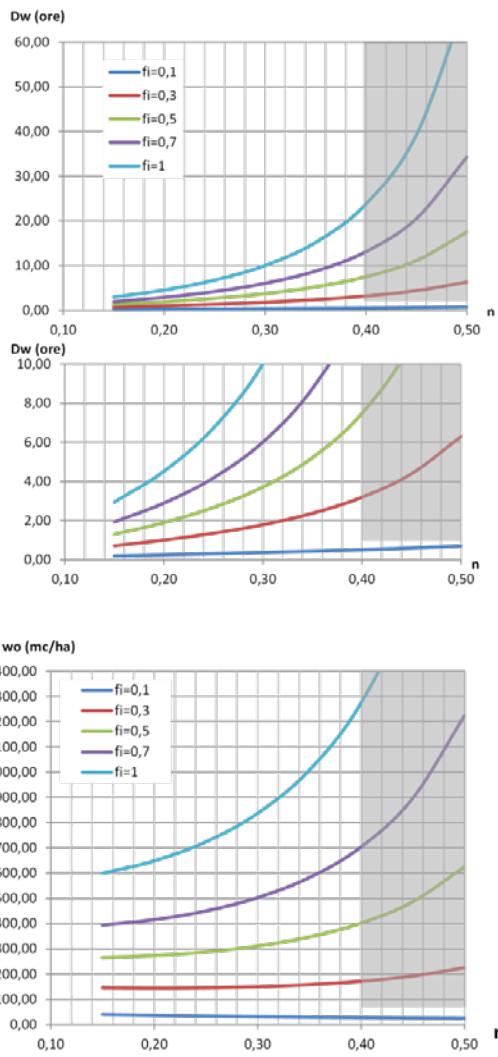


Figura 5 – Grafici della durata Dw (eq. 12'') e del volume specifico critico di invaso wo (eq. 13'') in funzione di n, per a=60 mm/ora e per u = 10 l/s per ettaro

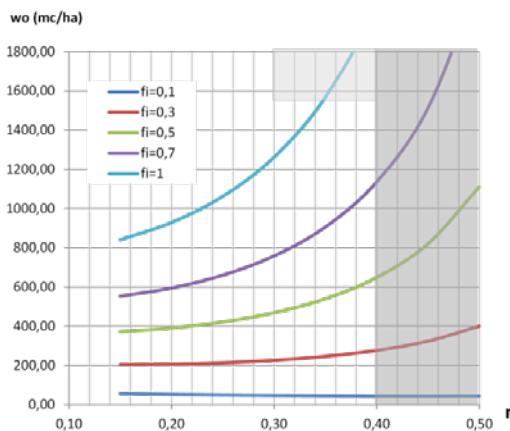
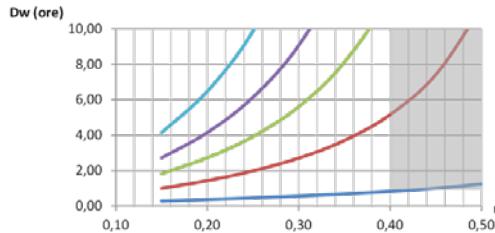
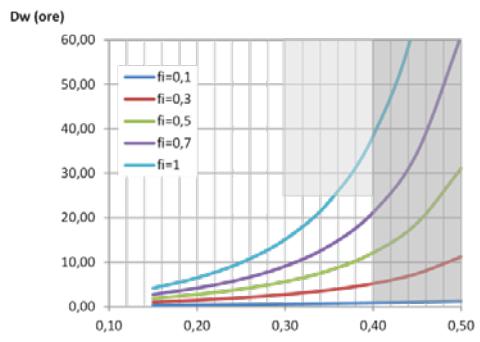
a = 60 mm/oraⁿ ; u = 10 l/s per ettaro



Campo pluviometrico inusuale (Dw > 1h e n > 0,40)

Figura 6 – Grafici della durata Dw (eq. 12'') e del volume specifico critico di invaso wo (eq. 13'') in funzione di n, per a=80 mm/ora e per u = 10 l/s per ettaro

a = 80 mm/oraⁿ; u = 10 l/s per ettaro



Campo pluviometrico inusuale (Dw > 24h e n > 0,30)
Campo pluviometrico inusuale (Dw > 1h e n > 0,40)

Figura 7 – Grafici della durata Dw (eq. 12'') e del volume specifico critico di invaso wo (eq. 13'') in funzione di n, per $a=100 \text{ mm/ora}$ e per $u = 10 \text{ l/s per ettaro}$

$a = 100 \text{ mm/ora}^n ; u = 10 \text{ l/s per ettaro}$

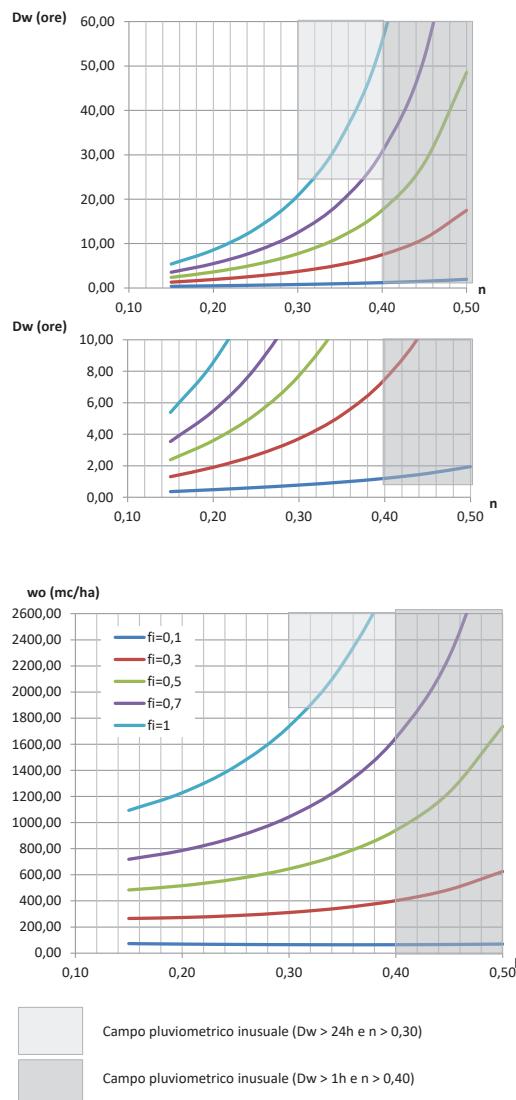
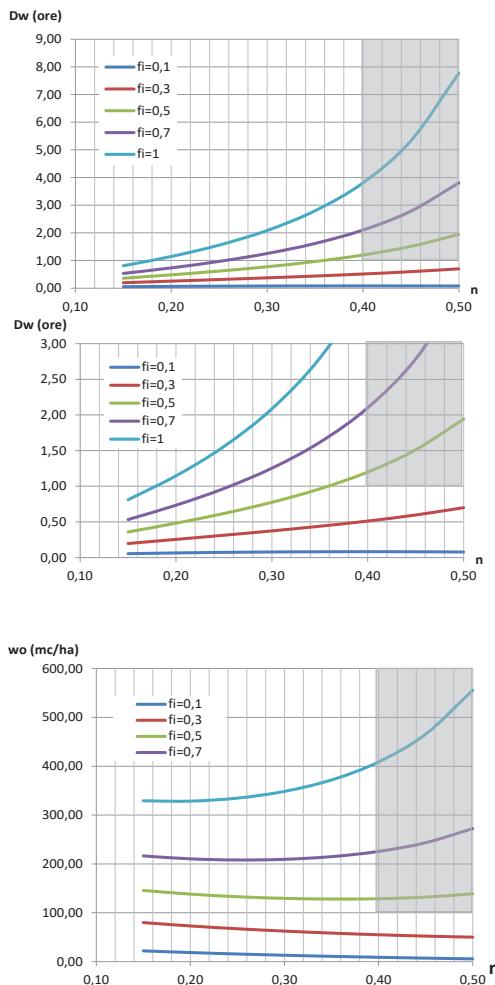


Figura 8 – Grafici della durata Dw (eq. 12'') e del volume specifico critico di invaso wo (eq. 13'') in funzione di n, per a=40 mm/ora e per u = 20 l/s per ettaro

a = 40 mm/oraⁿ ; u = 20 l/s per ettaro



Campo pluviometrico inusuale (Dw > 1h e n > 0,40)

Figura 9 – Grafici della durata Dw (eq. 12'') e del volume specifico critico di invaso wo (eq. 13'') in funzione di n, per a=60 mm/ora e per u = 20 l/s per ettaro

$$a = 60 \text{ mm/ora}^n ; u = 20 \text{ l/s per ettaro}$$

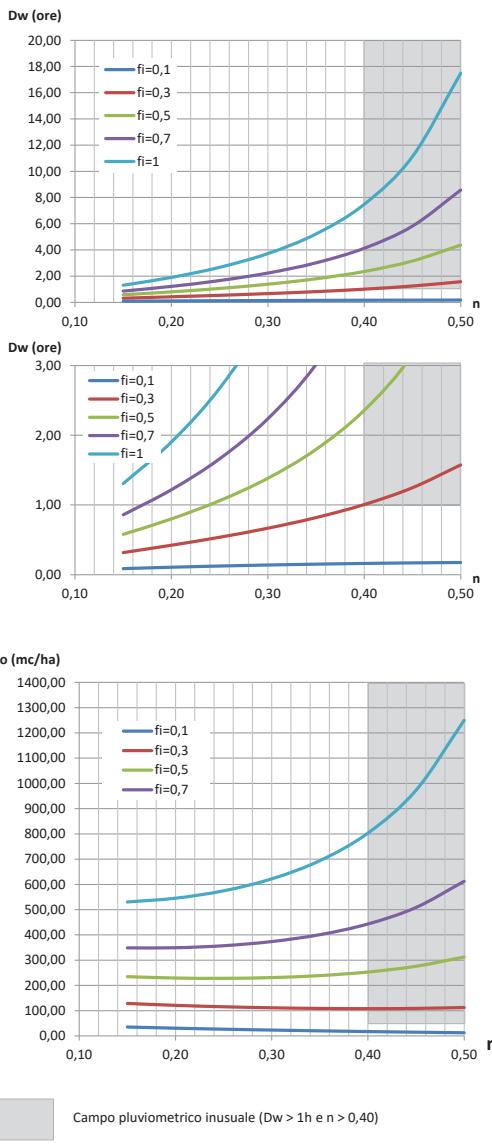


Figura 10 – Grafici della durata Dw (eq. 12'') e del volume specifico critico di invaso wo (eq. 13'') in funzione di n, per a=80 mm/ora e per u = 20 l/s per ettaro

a = 80 mm/oraⁿ; u = 20 l/s per ettaro

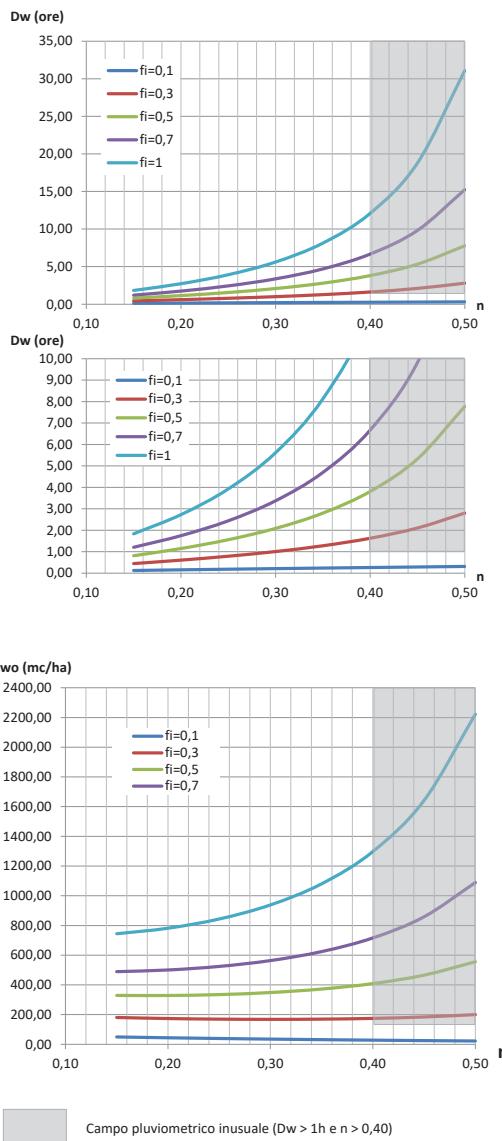
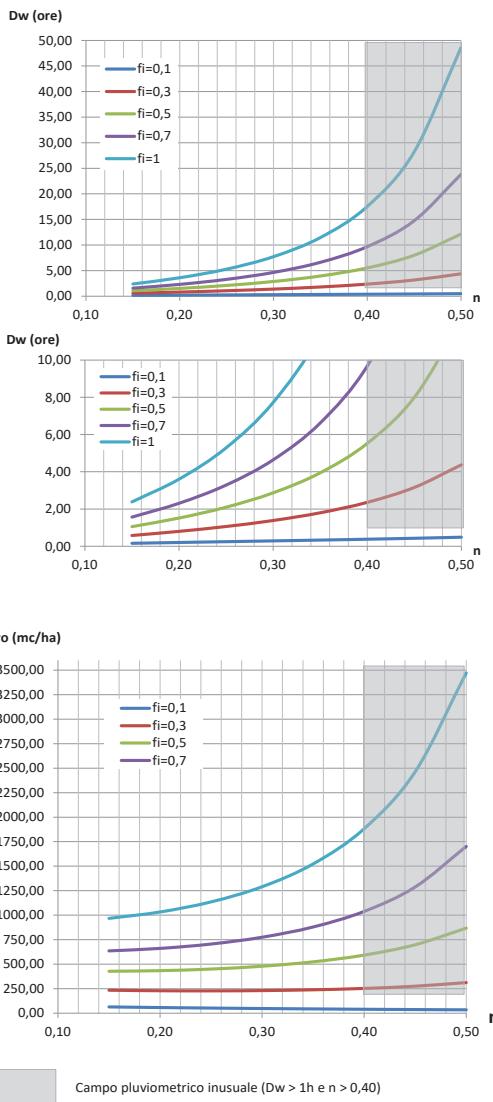


Figura 11 – Grafici della durata Dw (eq. 12'') e del volume specifico critico di invaso wo (eq. 13'') in funzione di n, per $a=100 \text{ mm/ora}$ e per $u = 20 \text{ l/s per ettaro}$

$a = 100 \text{ mm/ora}^n ; u = 20 \text{ l/s per ettaro}$



1.1.4 Procedura dettagliata

Nel caso di “Impermeabilizzazione potenziale alta” in ambiti territoriali a criticità alta o media si deve computare in dettaglio la trasformazione afflussi - deflussi del bacino fino alla sezione di ingresso nell’invaso (o nel complesso degli invasi) di laminazione in progetto, in particolare adottando idonei criteri di scelta:

- della forma dello ietogramma di progetto e della sua durata complessiva a partire dalla curva di possibilità pluviometrica valida per l’area in esame;
- della procedura di calcolo dello ietogramma netto in funzione delle perdite idrologiche per accumuli iniziali e per infiltrazione, in relazione alle tipologie del suolo e della urbanizzazione in progetto;
- del modello di trasformazione afflussi netti-deflussi idoneo a rappresentare sia la formazione degli idrogrammi di piena nelle diverse sotto-aree, sia la loro propagazione e formazione dell’idrogramma complessivo $Q_e(t)$ in corrispondenza della sezione di ingresso nell’invaso (o nel complesso degli invasi) di laminazione in progetto.

1.1.4.1 Ietogramma di progetto

Nel corso degli anni sono state proposte diverse forme sintetiche utilizzate per rappresentare la distribuzione dell’intensità di precipitazione durante un evento di pioggia. Tra le forme più utilizzate si citano: uniforme (NRCS, 1986); emisimmetrico (Keifer e Chu, 1957); Sifalda (Sifalda, 1973) e triangolare (Yen e Chow, 1980).

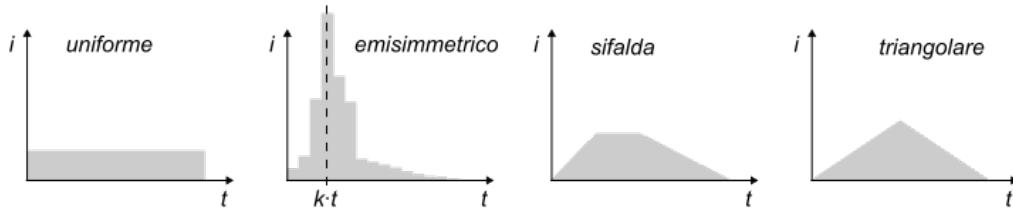


Figura 12: Esempi di forme di diversi ietogrammi sintetici

Ietogramma uniforme

È il metodo più utilizzato in ambito progettuale (cfr. Metodo delle sole piogge). L’intensità è direttamente calcolata a partire dalle curve di possibilità pluviometrica ed è considerata uniforme per l’intera durata dell’evento di pioggia.

Ietogramma emisimmetrico (Chicago)

Il metodo è stato implementato per il dimensionamento dei sistemi di drenaggio urbano. Lo ietogramma presenta una fase ascendente e una discendente con picco posizionato arbitrariamente dal progettista, secondo le relazioni:

$$i(t) = n \cdot a \cdot \left(\frac{t_r - t}{k}\right)^{n-1} \text{ per } t \leq t_r \quad (14)$$

$$i(t) = n \cdot a \cdot \left(\frac{t - t_r}{1-k}\right)^{n-1} \text{ per } t \geq t_r \quad (15)$$

Dove $i(t)$ è l’intensità di pioggia al tempo t , t_r è l’istante in cui si realizza il picco definito come la durata dell’evento moltiplicata per il parametro k (compreso tra 0 e 1, solitamente 0,4).

Ietogramma Sifalda

Lo ietogramma è costituito da tre parti: 1) fase ascendente lineare, 2) fase centrale costante, 3) fase discendente lineare. Le prime due fasi hanno durata pari ad $\frac{1}{3}$ la durata totale dell’evento mentre la terza parte ne dura la metà. Conseguentemente, il volume di pioggia è distribuito secondo i seguenti rapporti 14%,

56% e 30% rispettivamente per la prima, seconda e terza parte.

Ietogramma triangolare

Lo ietogramma triangolare è costituito a partire da un picco di valore pari al doppio dell'intensità media di un analogo ietogramma uniforme. La posizione del picco può variare a seconda delle scelte del progettista.

1.1.4.2 Ietogramma netto

Non tutta la precipitazione che cade al suolo genera deflusso superficiale. Parte di essa, infatti, rimane immagazzinata sulla superficie (perdite iniziali) e/o contribuisce ai processi di infiltrazione. Tra i metodi utili per la stima del deflusso superficiale, il metodo CN-SCS risulta essere uno dei metodi più utilizzati. Si rimanda invece alla manualistica tecnica, la descrizione di altri criteri peraltro implementati in diversi software di calcolo (ad es. SWMM, SWAT, ecc.).

Il metodo CN-SCS

Il metodo permette di calcolare direttamente la pioggia efficace, P_e , ovvero il volume di deflusso in ingresso all'opera di laminazione, attraverso la relazione:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (16)$$

dove P (mm) è la precipitazione, I_a (mm) sono le perdite iniziali mentre S (mm) è il volume specifico di saturazione.

Il volume specifico di saturazione è funzione di un parametro sperimentale chiamato Curve Number, CN, secondo la relazione:

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (17)$$

Le perdite iniziali sono stimate come il 20% del volume specifico di saturazione (anche se recenti studi dimostrano che per bacini antropizzati valori del 5% risultano essere più rappresentativi - Hawkins et al. 2020).

I valori di CN cambiano in funzione della classe di permeabilità del suolo (cfr. gruppo idrologico in Allegato F) e il tipo di uso del suolo. I valori estremi, teorici, sono:

0 = completa permeabilità, nessun deflusso superficiale

100 = completa impermeabilità, tutta la precipitazione diventa deflusso superficiale.

La manualistica tecnica riporta i valori di CN da adottare per le diverse casistiche (ad es. NRCS, 1986). A titolo esemplificativo, si riporta un estratto di una tabella presa dal manuale Urban Hydrology for Small Watersheds dell'USDA (1986).

Tabella 1: valori di CN per le aree urbanizzate. Estratto della tabella riportata nel manuale Urban Hydrology for Small Watersheds dell'USDA (1986)1.

Uso del Suolo	Gruppo Idrologico			
	A	B	C	D
Spazi aperti (Prati, pachi, campi da golf cimiteri)				
Con vegetazione < 50%	68	79	86	89
Con vegetazione tra 50% e 75%	49	69	69	84
Con vegetazione >75%	39	61	74	80
Arearie impermeabili				
Parcheggi pavimentati, tetti, vialetti a seconda della tipologia di materiale	da 72 a 98	da 82 a 98	da 87 a 98	da 89 a 98

¹ <https://www.nrc.gov/docs/ML1421/ML14219A437.pdf>

Distretti urbani				
Aree commerciali	89	92	94	95
Aree industriali	81	88	91	93
Arese residenziali a seconda della densità delle abitazioni	Da 46 a 77	Da 65 a 85	Da 77 a 90	Da 82 a 92

I valori di CN riportati in Tabella 1 possono inoltre essere corretti, a seconda delle caratteristiche dell'area in esame, per tenere conto del contenuto idrico del suolo antecedente l'evento di precipitazione oppure dell'effetto della morfologia se questa presenta pendenze elevate (Sharma et al. 2022).

1.1.4.3 Idrogramma di piena

La costituzione dell'idrogramma di piena in ingresso all'opera di laminazione deve tener conto delle modalità con cui la pioggia efficace, determinata con uno dei metodi precedentemente citati, si concentra e si propaga sul bacino rappresentato dall'area oggetto di intervento. A tale scopo è possibile applicare diversi criteri come di seguito descritti.

Modello della corrivazione

Il modello cinematico (o metodo della corrivazione) è un modello di propagazione afflussi-deflussi che mette in conto, nel calcolo dei deflussi di piena, esclusivamente il fenomeno di trasferimento della massa liquida, ovvero la pioggia efficace che si forma in un generico punto sulla superficie del bacino trasla semplicemente verso la sezione di chiusura in un tempo prefissato, dipendente dalle caratteristiche del percorso idraulico che unisce il punto di formazione del deflusso alla sezione di chiusura. Il modello pertanto prescinde dai fenomeni di laminazione della massa liquida lungo il percorso o imputabili ad un momentaneo accumulo in alcune zone (per esempio quelle più depresse) del bacino.

Il metodo della corrivazione si fonda sulle seguenti ipotesi:

1. La formazione della piena è dovuta unicamente a un fenomeno di trasferimento della massa liquida in cui ogni singola goccia di pioggia si muove sulla superficie del bacino seguendo un percorso immutabile che dipende solo dal punto in cui è caduta.
2. La velocità di ogni singola goccia non è influenzata dalla presenza di altre gocce, cioè, ognuna si muove indipendentemente dalle altre.
3. Il tempo di corrivazione da un generico punto all'interno del bacino è costante durante l'evento di pioggia, indipendentemente dall'intensità e della durata dell'evento stesso.
4. La portata della corrente defluente attraverso la sezione di chiusura si ottiene sommando le portate elementari provenienti dalle singole aree del bacino che si presentano allo stesso istante nella sezione di chiusura.

L'idrogramma di piena ottenuto tramite il metodo della corrivazione, richiede perciò la conoscenza del tempo di corrivazione del bacino e la determinazione della sua curva area-tempi.

Modello di Nash

Il modello di Nash schematizza la trasformazione afflussi-deflussi come il passaggio attraverso una cascata di serbatoi lineari (ovvero con portata in uscita proporzionale al volume invasato). L'equazione di bilancio per il generico serbatoio i -esimo è la seguente:

$$V_{i,t} = V_{i,t} - A_t + Q_{i-1,t} - Q_{i,t} \quad (18)$$

in cui

$$Q_{i,t} = \frac{1}{k} V_{i,t-\Delta t} \quad (19)$$

Applicando l'equazione 18 in serie tante volte quanti sono i serbatoi si ottiene il modello di Nash.

Se nell'equazione precedente l'intervallo di tempo Δt è molto piccolo, infinitesimale, e la pioggia in ingresso è un impulso (brevissima durata, teoricamente istantanea) di altezza unitaria, si ottiene in uscita il cosiddetto idrogramma unitario istantaneo (IUH di Nash).

L'IUH può essere ricavato analiticamente, ottenendo la funzione seguente, dove n è il numero di serbatoi e k è la costante di tempo del singolo serbatoio:

$$h_t = \left(\frac{1}{(n-1)!k} \right) \left(\frac{t}{k} \right)^{(n-1)} e^{-\frac{t}{k}} \quad (20)$$

La scelta dei valori da attribuire a coefficienti k e n deve riflettere la dinamica della trasformazione afflussi deflussi dello specifico bacino considerato. Più è grande la costante di tempo k e maggiore è la laminazione; effetto analogo produce l'aumento del numero di serbatoi, che ritarda anche il tempo in cui si verifica il colmo di piena. Bacini molto impermeabili e con pendenze elevate avranno quindi tendenzialmente basso valore della costante di tempo e basso numero di serbatoi. La costante di tempo cresce invece per bacini più ritentivi, con pendenze più modeste o percorsi di deflusso più lunghi.

Se si dispone di misure contemporanee di pioggia e di portata in occasione di uno o più eventi di piena, si può procedere alla calibrazione dei parametri n e k. Ciò ovviamente non è possibile in fase di progettazione e quindi si ipotizza un numero di serbatoi n dell'ordine di poche unità (ad esempio 2 per tetti verdi, Krasnogorskaya et al., 2019), mentre per la costante di tempo si possono utilizzare relazioni empiriche. Ad esempio, quella seguente lega k al tempo di corrievazione t_c (Becciu e Paoletti, 2010)

$$k = \frac{0.5 t_c}{n-1} \quad (21)$$

1.1.4.4 Idrogramma di uscita

L'idrogramma di uscita o scarico, nella procedura dettagliata di dimensionamento dell'opera di invarianza, potrà essere considerato, in via semplificata, costante per tutta la durata dell'evento e pari al valore di u_{lim} nel caso di scarico finale in corpo idrico ricettore o rete di drenaggio urbano. Nel caso di infiltrazione delle acque nel suolo, l'idrogramma in uscita potrà essere variabile nel tempo oppure considerato costante e pari al valore minimo di infiltrabilità (0,5 K_s) e potrà essere determinato in relazione alla capacità drenante dell'opera realizzata secondo quanto già riportato nell'allegato F.

Calcolo del volume di laminazione

Il calcolo del volume di laminazione segue lo schema già presentato per il metodo delle Sole Piogge. Una volta scelta la forma dello ietogramma di progetto e la modalità di trasferimento del deflusso, occorrerà testare durate crescenti dell'evento di pioggia al fine di ottenere il volume massimo richiesto per la laminazione.

Al variare della durata della precipitazione si otterranno infatti valori diversi del volume di invaso complessivo. Obiettivo della metodologia di progettazione è infatti di individuare il massimo valore del volume di invaso complessivo, in modo che sia garantito il rispetto del valore limite della portata in uscita qualunque sia la durata dell'evento di pioggia. La durata dell'evento a cui corrisponde il massimo valore dell'invaso è definita come durata critica ai fini dell'identificazione delle misure di compensazione. In generale essa potrà risultare maggiore, anche significativamente, del tempo di corrievazione. E' possibile, infatti, che eventi di durata maggiore di quest'ultimo, pur producendo valori di portata al colmo inferiori, richiedano volumi di invaso maggiori per contenere la portata in uscita dall'area di trasformazione entro il limite previsto dal regolamento.

La durata critica può essere ottenuta procedendo per tentativi, ipotizzando che essa sia pari alla somma del tempo di corrievazione e di un tempo aggiuntivo (non noto a priori), che viene fatto variare fino ad ottenere il massimo del volume di invaso complessivo.

Il tempo di corrievazione, che nel caso di piccoli bacini urbani è dell'ordine di poche decine di minuti, può essere ricavato dalla somma del tempo necessario affinché una particella d'acqua possa percorrere il percorso idraulicamente più lungo. In questo caso si può fare riferimento allo schema di calcolo riportato in NRCS (1986).

La durata critica ottenuta varierà a seconda della tipologia e forma dello ietogramma e del modo di calcolare le perdite idrologiche per cui è opportuno testare diverse ipotesi e scegliere il risultato ritenuto sufficientemente cautelativo.

1.1.5 Calcolo del tempo di svuotamento

In funzione delle portate uscenti dall'invaso di laminazione Q_u (nel rispetto della portata limite ammissibile di cui all'articolo 8 del regolamento) e Q_{inf} (portata di infiltrazione calcolata con i criteri riportati in allegato F , utilizzando cautelativamente il valore $0,5 K_s$), il tempo di svuotamento dopo il termine dell'evento, a partire dal massimo invaso W_{lam} , è pari a:

$$t_{svuot} = \frac{W_{lam}}{Q_u + Q_{inf}} \quad (22)$$

1.2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Becciu, G. e Paoletti, A. 2010 Fondamenti di Costruzioni Idrauliche. UTET.
- Hawkins, R.H., Moglen, G.E., Ward, T.J., Woodward, D.E., 2020. Updating the curve number: task group report. In: Watershed Management 2020. American Society of Civil Engineers, Reston, VA, pp. 131–140.
- Keifer, C. J. e Chu, H. H. 1957 Synthetic storm pattern for drainage design. J. Hydraul. Div. 83,1–25.
- Krasnogorskaya, N., Longobardi, A., Mobilia, M., Khasanova, L. F., & Shchelchkova, A. I. (2019). Hydrological Modeling of Green Roofs Runoff by Nash Cascade Model. The Open Civil Engineering Journal, 13(1), 163–171. <https://doi.org/10.2174/1874149501913010163>
- Moisello, U. (1998). Idrologia tecnica (pp. 824-824). La goliardica pavese.
- NRCS (1986). Urban hydrology for small watersheds. US Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, Engineering Division. <http://repositories.tdl.org/tamug-ir/handle/1969.3/24438>.
- Sharma, I., Mishra, S. K., & Pandey, A. (2022). Can slope adjusted Curve Number models compensate runoff underestimation in steep watersheds?: A study over experimental plots in India. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 127, 103185.
- Sifalda, V. 1973 Entwicklung eines berechnungsregens fur die bemessung von kanalnetzen (Calculating synthetic hyetographs for designing sewer networks). GWF-Wasser/ Abwasser 114, 435–440.
- Yen, B. C. e Chow, V. T. 1980 Design hyetographs for small drainage structures. J. Hydraul. Div. 106 (6), 1055–1076.

Allegato H – Esempi applicativi delle metodologie di calcolo dei volumi di laminazione e dei processi di infiltrazione

1.1 ESEMPI APPLICATIVI DEL METODO DELLE SOLE PIOGGE

Il metodo delle sole piogge si basa sull'applicazione delle formule (12') e (13') dell'allegato G e richiede che il professionista abbia predeterminato, in riferimento allo specifico caso reale, la superficie scolante S afferente all'invaso (superficie interessata dall'intervento) e il suo coefficiente d'afflusso medio ponderale φ , i parametri a e n della curva di possibilità pluviometrica valida localmente per il tempo di ritorno 50 anni indicati nell'Allegato G, paragrafo 1, ed infine la portata limite di scarico u_{lim} pari (o inferiore, se necessario) al valore limite ammissibile fissato nell'articolo 8 del regolamento per l'area oggetto del calcolo. Di seguito sono proposti alcuni casi esemplificativi.

Esempio 1

Un nuovo comprensorio di lottizzazione residenziale di 2,5 ettari di superficie interessata dall'intervento integralmente scolante verso un invaso di laminazione è ubicato in area A ad alta criticità ($u_{lim} = 10 \text{ l/s per ettaro}$).

La curva di possibilità pluviometrica valida localmente per il tempo di ritorno 50 anni è caratterizzata dai parametri:

$$a = 70 \text{ mm/ora}^n$$

$n = 0,5$ per durate $D < 1$ ora e $0,28$ per durate $D \geq 1$ ora.

Il progetto della lottizzazione prevede una superficie interessata dall'edificazione di 2000 m^2 (8 % della superficie totale) per tetti, terrazzi, cortili e pavimentazioni ad uso pedonale e ciclabile; pertanto, l'intervento presenta classe di intervento (articolo 9 del regolamento) "Impermeabilizzazione potenziale media" ed è applicabile la procedura di calcolo del metodo delle sole piogge.

Assumendo un coefficiente di deflusso (articolo 11, comma 2, lettera d) del regolamento) pari all'unità per le parti coperte (8 % del totale) e pari a 0,3 per le aree permeabili (92 % del totale), il coefficiente di deflusso medio ponderale è pari a 0,356, che per sicurezza si arrotonda a 0,4.

Lo scarico dell'invaso di laminazione è addotto alla rete fognaria pubblica nel rispetto della portata limite ammissibile complessiva che, essendo $u_{lim} = 10 \text{ l/s per ettaro di superficie scolante dell'intervento}$ è pari a:

$$2,5 \text{ ettari} \times 10 = 25 \text{ l/s}$$

Applicando le formule (12') e (13') si ottengono i seguenti risultati:

- durata critica $D_w = 3,0$ ore (utilizzando l'esponente $n = 0,28$ valido per $D \geq 1$ ora)
- volume di laminazione $W_o = 682 \text{ m}^3$.

L'opera dovrà consentire l'invaso di almeno 682 m^3 .

Per tempi di ritorno superiori è necessario valutare qualitativamente che, con le opere come sopra dimensionate, non si determinino esondazioni che arrechino danni a persone o a cose, siano esse le opere stesse o le strutture presenti nell'intorno, e le conseguenti azioni atte al loro contenimento. Infine, è inoltre possibile prevedere un eventuale volume aggiuntivo per l'immagazzinamento del volume stimato con piogge di tempo di ritorno di 100 anni.

Esempio 2

Si ripete l'esempio 1 (nuovo comprensorio di lottizzazione residenziale di 2,5 ettari di superficie interessata dall'intervento) ma ipotizzandone l'ubicazione in area B a media criticità ($u_{lim} = 20 \text{ l/s per ettaro}$) e quindi avendo portata limite ammissibile pari a 50 l/s .

In questo caso le formule (12') e (13') forniscono i seguenti risultati:

- durata critica $D_w = 1,1$ ore (utilizzando l'esponente $n = 0,28$ valido per $D \geq 1$ ora)

- volume di laminazione $W_o = 521 \text{ m}^3$

L'opera dovrà consentire l'invaso di almeno 521 m^3 .

Per tempi di ritorno superiori è necessario valutare qualitativamente che, con le opere come sopra dimensionate, non si determinino esondazioni che arrechino danni a persone o a cose, siano esse le opere stesse o le strutture presenti nell'intorno, e le conseguenti azioni atte al loro contenimento. Infine, è inoltre possibile prevedere un eventuale volume aggiuntivo per l'immagazzinamento del volume stimato con piogge di tempo di ritorno di 100 anni.

Esempio 3

Un intervento che si classifica come ampliamento di 0,2 ettari all'interno di un'area esistente avente superficie complessiva di 1 ettaro, è ubicato in area A ad alta criticità ($u_{lim} = 10 \text{ l/s}$ per ettaro; portata limite ammissibile per lo scarico dell'ampliamento pari a 2 l/s). Poiché l'invarianza idraulica è da commisurare al solo ampliamento di 0,2 ettari, l'intervento presenta classe di intervento (articolo 9 del regolamento) "Impermeabilizzazione potenziale media" ed è quindi adottabile la procedura di calcolo del metodo delle solo piogge da applicare al solo ampliamento.

La curva di possibilità pluviometrica valida localmente per il tempo di ritorno 50 anni è caratterizzata dai parametri:

$$a = 80 \text{ mm/ora}^n$$

$$n = 0,5 \text{ per durate } D < 1 \text{ ora e } 0,25 \text{ per durate } D \geq 1 \text{ ora.}$$

Ipotizzando che il progetto dell'ampliamento preveda coperture impermeabili comportanti un coefficiente d'afflusso medio ponderale pari a 1, le formule (12') e (13') forniscono i seguenti risultati:

- durata critica $D_w = 9,8 \text{ ore}$ (utilizzando l'esponente $n = 0,25$ valido per $D \geq 1 \text{ ora}$)
- volume di laminazione $W_o = 213 \text{ m}^3$

L'opera dovrà consentire l'invaso di almeno 213 m^3 .

Per tempi di ritorno superiori è necessario valutare qualitativamente che, con le opere come sopra dimensionate, non si determinino esondazioni che arrechino danni a persone o a cose, siano esse le opere stesse o le strutture presenti nell'intorno, e le conseguenti azioni atte al loro contenimento. Infine, è inoltre possibile prevedere un eventuale volume aggiuntivo per l'immagazzinamento del volume stimato con piogge di tempo di ritorno di 100 anni.

Esempio 4

Un intervento che si classifica come ampliamento di 250 m^2 all'interno di un'area esistente avente superficie complessiva di 1,5 ettari è ubicato in area B a media criticità ($u_{lim} = 20 \text{ l/s}$ per ettaro). Si ipotizza che il progetto della lottizzazione preveda coperture impermeabili comportanti un coefficiente d'afflusso medio ponderale pari a 1.

Gli interventi di superficie minore di 300 m^2 possono applicare l'invarianza idraulica e idrologica con una modalità semplificata.

Per tale trasformazione è pertanto possibile:

1. prevedere uno scarico verso un ricettore che dovrà rispettare la portata massima allo scarico di cui all'art. 8 ($u_{lim} = 20 \text{ l/s}$ per ettaro; portata limite ammissibile per lo scarico dell'ampliamento pari a $0,50 \text{ l/s}$). In questo caso dovrà essere realizzato un volume almeno pari al requisito minimo per le aree C (pari a $400 \text{ m}^3/\text{ha}_{imp}$: $0,025 * 400 = 10 \text{ m}^3$);
2. non prevedere alcuno scarico verso un ricettore (a meno che il ricettore non sia uno di quelli elencati all'art. 12, comma 1, lettera a) ma la gestione interna al lotto con scarico su suolo o nei primi strati del sottosuolo; conseguentemente, per l'intervento non è richiesto il rispetto di valori di riferimento delle portate né dei volumi. È comunque consigliabile prevedere misure di gestione e controllo delle proprie acque pluviali onde cautelarsi rispetto al rischio idraulico per i tempi di ritorno elevati. Allo

scopo, è possibile prevedere sistemi di laminazione e infiltrazione adeguatamente attrezzati per il loro svuotamento.

Esempio 5

Si realizza una nuova costruzione di 1400 m², di cui 400 m² sono destinati a giardino non collettato, 500 m² sono destinati a pavimentazioni semipermeabili e 600 m² sono destinati a tetti (impermeabili) e marciapiedi impermeabili.

Tale trasformazione è ubicata in Comune di Brescia, e quindi in area A ad alta criticità dove il limite allo scarico è impostato a 10 l/s per ettaro.

La portata di scarico è quindi pari a:

$$Q_{lim} = 10 * \frac{(500 + 600)}{10000} = 1,1 \frac{l}{s}$$

Ai fini del calcolo della superficie scolante impermeabile dell'intervento si utilizzano i seguenti coefficienti di deflusso: 0,7 per le superfici semipermeabili, 1 per i tetti e i marciapiedi impermeabili. Le superfici destinate a giardino non collettato, purché le acque di deflusso proseguano per le originarie linee di scolo e che non siano destinate ad interventi finalizzati al rispetto del regolamento di invarianza idraulica e idrologica (per esempio sagomatura e laminazione delle acque di altri compatti del lotto) non sono tenute all'applicazione del regolamento.

La superficie scolante impermeabile dell'intervento è pari quindi a (500*0,7+600*1) = 950 m².

Poiché l'invarianza idraulica è da commisurare alle aree degli interventi di cui l'art. 3, escludendo quindi le superfici a giardino non collettato, per un totale di 1100 m² (500 m² + 600 m²), l'intervento presenta classe di intervento (articolo 9 del regolamento) "Impermeabilizzazione potenziale media" ed è quindi adottabile la procedura di calcolo del metodo delle solo piogge.

La curva di possibilità pluviometrica valida localmente per il tempo di ritorno 50 anni è caratterizzata dai parametri:

a = 55,52 mm/oraⁿ

n = 0,28 valido per D ≥ 1 ora

Possibili soluzioni per la realizzazione del volume di laminazione:

Caso 1:

L'intervento prevede lo scarico delle acque in corpo idrico superficiale o in fognatura.

Le formule (12') e (13') forniscono i seguenti risultati:

- durata critica D_w = 6,2 ore
- volume di laminazione W_o = 63 m³

L'opera dovrà consentire l'invaso di almeno 63 m³ con un tempo di svuotamento di 16 ore, inferiore al limite di 48 ore.

Per tempi di ritorno superiori è necessario valutare qualitativamente che, con le opere come sopra dimensionate, non si determinino esondazioni che arrechino danni a persone o a cose, siano esse le opere stesse o le strutture presenti nell'intorno, e le conseguenti azioni atte al loro contenimento. Infine, è inoltre possibile prevedere un eventuale volume aggiuntivo per l'immagazzinamento del volume stimato con piogge di tempo di ritorno di 100 anni.

Si prevede di realizzare il volume sopra calcolato con una serie di volumi distribuiti all'interno delle aree di cui è già prevista la trasformazione a superficie impermeabile (quindi all'interno dei 600 m²), attraverso, ad esempio: serbatoi/accumuli fuori terra [per esempio serbatoi in corrispondenza delle tubazioni di scarico dei tetti, invasi lineari o concentrati lungo i marciapiedi (sopra o interrati), pozzi o trincee drenanti, sovradimensionamento del sistema di drenaggio delle acque pluviali lungo le pavimentazioni già

impermeabili, ecc...].

Dovrà, quindi, essere documentato come la serie dei volumi distribuiti raggiunga il volume complessivo calcolato.

Caso 2:

Si prevede di realizzare il volume destinando ad area di laminazione e infiltrazione una parte della superficie inizialmente destinata a giardino non collettato, equipaggiata con uno scarico in ricettore superficiale che rispetti il limite di normativa.

Si considera, per esempio, di occupare con la laminazione 150 m² dell'area giardino.

Occorre rifare i calcoli precedenti, inserendo i nuovi valori delle superfici trasformate, considerando che le aree verdi utilizzate come laminazione devono essere considerate con coefficiente di deflusso pari a 0,7.

Pertanto, la superficie scolante impermeabile dell'intervento è pari a:

$$(500 * 0,7 + 600 * 1 + 150 * 0,7) = 1055 \text{ m}^2$$

Ipotizzando che l'area di infiltrazione sia caratterizzata da un suolo sabbioso di gruppo B (cfr. Allegato F), si utilizza come valore limite della conducibilità idraulica il valore di f_c pari a 12,7 mm/ora e si trascura la superficie laterale dell'invaso nel processo di infiltrazione per cui, la portata di infiltrazione Q_{inf} sarà pari a:

$$Q_{inf} = A_{inf} * 0.5 * K_S = 150 * 0.5 * \frac{12.7}{3600} = 0,26 \frac{l}{s}$$

La curva di possibilità pluviometrica valida localmente per il tempo di ritorno 50 anni è caratterizzata dai parametri:

$a = 55,52 \text{ mm/ora}^n$

$n = 0,28$ valido per $D \geq 1$ ora

le formule (12') e (13'), applicate tenuto conto anche della portata infiltrata Q_{inf} , forniscono i seguenti risultati:

- durata critica $D_w = 4,6$ ore (utilizzando l'esponente $n = 0,28$ valido per $D \geq 1$ ora)
- volume di laminazione $W_o = 65 \text{ m}^3$.

L'opera dovrà consentire l'invaso di almeno 65 m³ con un tempo di svuotamento di 12 ore, inferiore al limite di 48 ore.

Per tempi di ritorno superiori è necessario valutare qualitativamente che, con le opere come sopra dimensionate, non si determinino esondazioni che arrechino danni a persone o a cose, siano esse le opere stesse o le strutture presenti nell'intorno, e le conseguenti azioni atte al loro contenimento. Infine, è inoltre possibile prevedere un eventuale volume aggiuntivo per l'immagazzinamento del volume stimato con piogge di tempo di ritorno di 100 anni

Caso 3:

Si prevede di realizzare il volume destinando ad area di laminazione e infiltrazione una parte della superficie inizialmente destinata a giardino non collettato, senza scarico in ricettore ma con la sola infiltrazione utilizzando le caratteristiche di permeabilità del suolo che ha tessitura sabbiosa.

Si considera, per esempio, di occupare con la laminazione 150 m² dell'area giardino.

Ipotizzando che l'area di infiltrazione sia caratterizzata da un suolo sabbioso di gruppo B (cfr. Allegato F), si utilizza come valore limite della conducibilità idraulico il valore di f_c pari a 12,7 mm/ora e si trascura la superficie laterale dell'invaso nel processo di infiltrazione per cui, la portata di infiltrazione Q_{inf} sarà pari a:

$$Q_{inf} = A_{inf} * 0.5 * K_S = 150 * 0.5 * \frac{12.7}{3600} = 0,26 \text{ l/s}$$

Impostando la portata in uscita dal sistema Q_u uguale a Q_{inf} applicando le formule (12') e (13') si ottengono i seguenti risultati:

- durata critica $D_w = 48,4$ ore (utilizzando l'esponente $n = 0,28$ valido per $D \geq 1$ ora)

- volume di laminazione $W_0 = 118 \text{ m}^3$.

Occorre quindi verificare che sia rispettato il limite dato dal tempo di svuotamento massimo di 48 ore per cui:

$$t_{svuot} = \frac{118}{3.6 * 0.26} = 124 \text{ ore}$$

Il valore ottenuto per consentire lo svuotamento dell'opera dopo l'evento di pioggia è di molto superiore alle 48 ore. Occorrerà quindi riprogettare l'opera ad esempio aumentando l'area di infiltrazione. Si può procedere quindi per tentativi, incrementando la superficie di infiltrazione e verificando il rispetto del tempo di svuotamento. Dopo alcune prove si ottiene che, con una superficie di 360 m^2 si ha un tempo di svuotamento di poco inferiore alle 48 ore.

Per tempi di ritorno superiori è necessario valutare qualitativamente che, con le opere come sopra dimensionate, non si determinino esondazioni che arrechino danni a persone o a cose, siano esse le opere stesse o le strutture presenti nell'intorno, e le conseguenti azioni atte al loro contenimento. Infine, è inoltre possibile prevedere un eventuale volume aggiuntivo per l'immagazzinamento del volume stimato con piogge di tempo di ritorno di 100 anni

1.2 ESEMPIO APPLICATIVO DELLA METODOLOGIA DI CALCOLO DETTAGLIATA

La procedura dettagliata si differenzia dalle metodologie semplificate (applicazione diretta dei requisiti minimi e metodo delle sole piogge) in quanto prevede uno studio idrologico di dettaglio del deflusso prodotto sulla superficie oggetto della trasformazione che deve essere condotto, come detto nei paragrafi precedenti, facendo riferimento ai tradizionali modelli afflusso-deflusso riportati nella letteratura tecnico-scientifica.

A tale proposito risulta essere opportuno comparare (dove non adeguatamente giustificato) i risultati di diverse tipologie (e forme) di sollecitazione meteorica di progetto (ietogramma), diverse metodologie di descrizione del processo d'infiltrazione (perdite idrologiche) e meccanismi di propagazione del deflusso.

1.2.1 Esempio H.2.1

Un nuovo comprensorio di lottizzazione residenziale di 2,1 ettari di superficie totale integralmente scolante verso l'invaso di laminazione è ubicato in area A ad alta criticità ($u_{lim} = 10 \text{ l/s}$ per ettaro di superficie scolante).

Il progetto della lottizzazione prevede le seguenti percentuali di "copertura" dell'area:

- a) $A_1 = 30\%$ della superficie totale per tetti e terrazzi con copertura impermeabile non soggetti a presenza di veicoli a motore (0,6 ettari);
- b) $A_2 = 20\%$ della superficie totale per pavimentazioni semipermeabili di viabilità interna pedonale o ciclabile (0,4 ettari);
- c) $A_3 = 15\%$ della superficie totale per pavimentazioni semipermeabili di viabilità e parcheggi per autoveicoli (0,3 ettari);
- d) $A_4 = 35\%$ della superficie totale di aree a verde collettata (0,8 ettari).

Esempio H.2.1

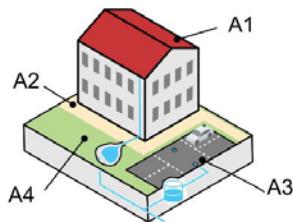


Figura 1: distribuzione delle superfici secondo l'ipotesi progettuale (A1: tetti e terrazzi, A2: pavimentazioni semipermeabili, A3: pavimentazioni semipermeabili; A4: verde collettato).

La curva di possibilità pluviometrica valida localmente per il tempo di ritorno 50 anni è caratterizzata dai parametri: a pari a 70 mm/oraⁿ e n pari a 0.5.

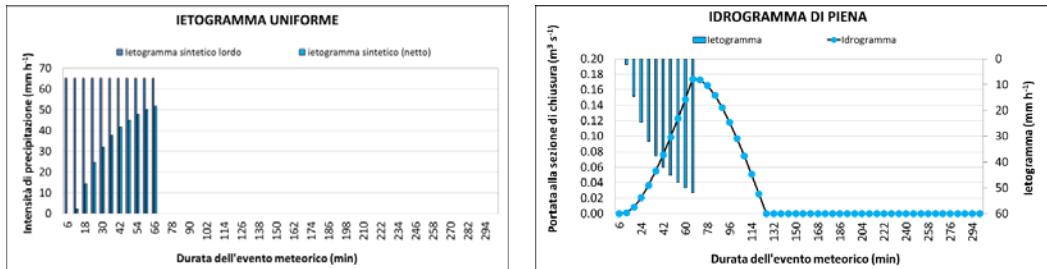
In questo esempio si è ritenuto utile mostrare l'applicazione del metodo SCS-CN come strumento di calcolo delle perdite idrologiche in quanto fornisce maggiore flessibilità nel rappresentare il comportamento idrologico delle diverse superfici e dei sistemi SuDS. Per ciascuna delle superfici sopra riportate si sono assunti i seguenti valori di CNII: A1 = 95, A2 = 85, A3 = 91, A4 = 76 nell'ipotesi che i suoli appartengano ad un gruppo idrologico pari a C della classificazione SCS.

Il progetto prevede di separare le acque pluviali relative alle parti A1, A2 e di addurre le medesime ad un invaso di laminazione e infiltrazione ubicato nell'area verde A4. Nei riguardi invece delle acque meteoriche relative alla parte A3, soggetta a presenza di autoveicoli, il progetto prevede di collestrarle con apposita rete di drenaggio in una separata vasca di laminazione.

La nuova superficie di deflusso, pertanto, sarà data dalla somma delle aree A1, A2 e A3 ovvero 1.8 ettari. Il CNII medio (ottenuto come media pesata dei valori di CNII per le singole aree) risulta pari a circa 84 (in questo esempio, non si è tenuto in considerazione, nella simulazione del processo infiltrativo, l'eventuale maggiorazione del valore di CN per le condizioni antecedenti di umidità).

A titolo esemplificativo si è deciso di valutare tre differenti forme di sollecitazione meteorica (ovvero uniforme, triangolare e emisimmetrica) e calcolare i rispettivi volumi di deflusso per una sola durata della precipitazione, ovvero pari ad 1 ora. Resta fermo quanto riportato nell'Allegato G (paragrafo "Calcolo del volume di laminazione") che specifica che si devono applicare varie durate di pioggia fino ad ottenere il volume massimo che definisce la durata critica.

In Figura 2 si mostrano gli ietogrammi di pioggia lordi e netti e i relativi idrogrammi di piena.



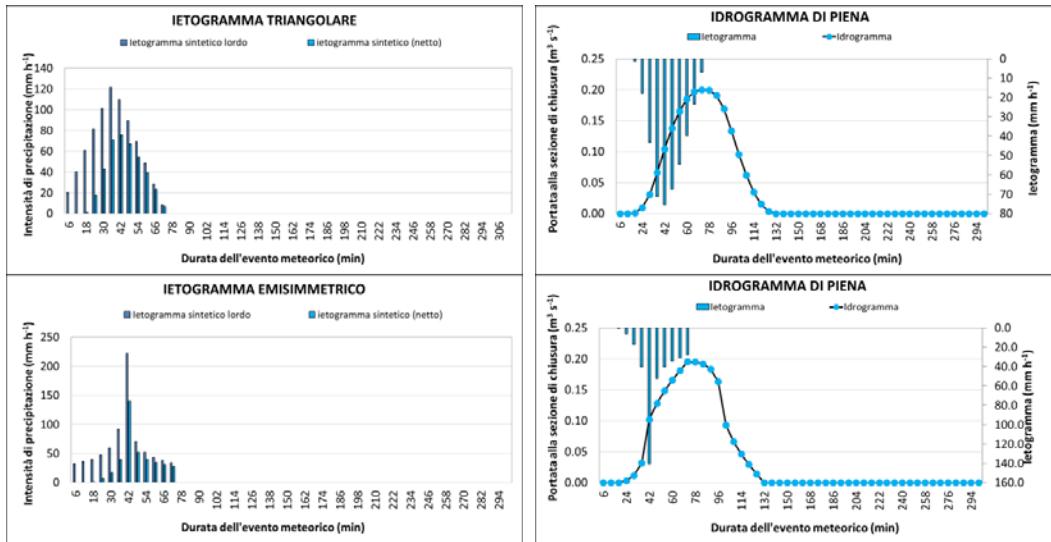


Figura 2. Confronto tra ietogrammi lordi e netti e il rispettivo idrogramma di piena nel caso di una precipitazione di durata 1-hr.

Ciascuno degli idrogrammi mostrati in Figura 2 costituisce potenzialmente la portata in ingresso all'opera di accumulo che dovrà essere realizzata. Il calcolo del volume dell'invaso sarà pertanto ricavato dal bilancio di massa tra il volume entrante (derivato dall'idrogramma di piena) e quello uscente, quest'ultimo ottenuto a partire da una portata in uscita costante che nel caso specifico è pari a 18 l/s (ovvero 10 l/s ha * 1.8 ha).

In Tabella 1 sono riportati i risultati indicativi dei volumi di piena in ingresso all'invaso e il volume di quest'ultimo.

Tabella 1. Volumi di piena per diverse forme dello ietogramma.

IETOGRAMMI	VOLUME DI PIENA (m ³)	VOLUME D'INVASO (m ³)
UNIFORME	626	512
TRIANGOLARE	721	613
EMISIMMETRICO	702	594

In base alle scelte progettuali (opportunamente motivate) si può scegliere di considerare come volume d'invaso il volume medio o il volume massimo (ovvero quello più cautelativo) di quelli ottenuti per le diverse casistiche.

Il tempo di svuotamento dell'invaso risulta pari a circa 9.5 ore (prendendo in considerazione il volume d'invaso massimo riportato in Tabella 1 e la portata di scarico pari a 18 l/s=64.8 m³/h).

Progetto del volume d'invaso a servizio dell'area A3

Adottando la stessa procedura descritta pocanzi per la sola superficie A3, si ricava il volume d'invaso per il contenimento delle portate derivanti dalle pavimentazioni semipermeabili di viabilità e parcheggi per autoveicoli.

Per brevità si mostrano solo i risultati relativi all'applicazione di un singolo ietogramma di precipitazione (ovvero quello triangolare) e durata della pioggia pari ad 1 ora (Figura 3). La portata di picco in ingresso all'invaso è circa 45 l/s e il volume di piena pari a circa 156 m³. La portata in uscita dall'invaso di laminazione è pari a 3 l/s (ovvero 10 l/s ha x 0.3 ha), e il volume da realizzare è circa pari a 138 m³. Nell'ipotesi che l'invaso abbia una forma di parallelepipedo a base rettangolare con superficie in pianta di 80m², il massimo livello raggiunto nell'invaso è di circa 1.7 m e il tempo di svuotamento (dato dal rapporto tra il volume dell'invaso e la portata in uscita) è di circa 13 ore.

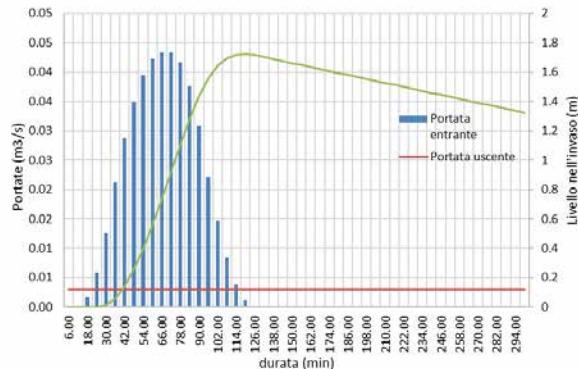


Figura 3. Idrogramma in ingresso e in uscita dalla vasca di laminazione e livello idrico nell'invaso.

1.2.2 Esempio H.2.2

Interessante può essere l'applicazione della metodologia illustrata pocanzi in un'ottica di 'pianificazione'. L'applicazione della procedura dettagliata in un'ottica di pianificazione, parte dal presupposto che all'interno del lotto di edificazione, le caratteristiche delle superfici di trasformazione non siano ancora state stabilite in via definitiva e si voglia procedere ad una previsione sull'entità degli interventi di mitigazione da realizzare al variare della superficie impermeabile. La procedura di calcolo, perciò, prevede di ricavare l'entità e le caratteristiche (in questo specifico esempio in termini di valore di CN,) delle superfici permeabili da realizzare in modo che sia rispettato il limite previsto dal regolamento sulla portata di picco del deflusso prodotto.



a) Adozione di soluzioni tecnologiche per la riduzione del deflusso prodotto dalle superfici

Mantenendo i rapporti tra le superfici A1, A2 e A4, si ipotizza:

- Di inserire soluzioni con verde pensile sulle coperture dell'area A1 sviluppato in modo tale che quest'ultimo porti ad una ragionevole riduzione del valore di CN di circa il 11% (ovvero un passaggio da CNII 95 a 84)².

² A titolo esemplificativo si cita un lavoro scientifico che riporta indicazioni sul valore di CN ottenuti per verde pensile. Si consiglia tuttavia di esplorare un numero significativo di lavori tecnico-scientifici e di utilizzare quelli che si ritengono essere maggiormente affini agli scopi di progetto. [Getter, K. L., Rowe, D. B., & Andresen, J. A. (2007). Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. Ecological engineering, 31(4), 225-231]

- Di aumentare la capacità drenante dell'area A2 con una riduzione del valore di CN di circa il 10% (ovvero da 85 a 76)³.
- Di ridurre la produzione di deflusso attraverso la piantumazione dell'area verde che porta ad una diminuzione del 5% il valore di CN (ovvero da 76 a 72).

A titolo esemplificativo si mostrano gli idrogrammi risultanti dall'applicazione di una sollecitazione meteorica con forma emisimmetrica e durata della pioggia pari al tempo di corrievole. Quest'ultimo a seguito della riqualificazione si trasforma da un valore ipotizzato di 25 min ad uno di 30 min.

L'introduzione di soluzioni tecnologiche atte a migliorare la capacità di drenaggio porta ad una riduzione del volume d'invaso di circa il 23% (a partire dai circa 370 m³ della situazione pre-riqualificazione) (Figura 4).

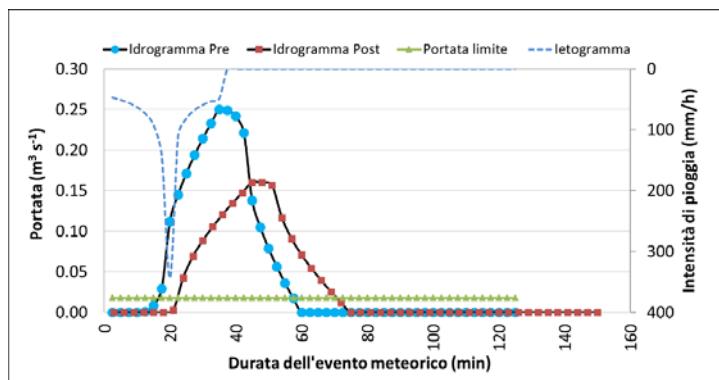


Figura 4. Idrogramma di piena pre e post adozione di soluzioni tecnologiche per migliorare la capacità di drenaggio delle aree A1, 2 e A4.

b) Riorganizzazione dei rapporti tra le superfici

In questo caso si è ipotizzato di mantenere i valori di CN come nell'esempio 1, ma di rivedere i rapporti tra le superfici. Nello specifico, si ipotizza di

- Ridurre A1 di circa il 33% (da 0.6 a 0.4 ettari)
- Ridurre A2 di circa un 25% (da 0.4 a 0.3 ettari)
- Aumentare A4 di circa un 38% (da 0.8 a 1.1 ettari)

Tale riorganizzazione si ipotizza che abbia prodotto un incremento del tempo di corrievole da 25 min a 30 min come nello scenario precedente.

In Figura 5 si mostra l'esito della riorganizzazione delle superfici sottoforma di confronto tra gli idrogrammi di piena pre e post la riorganizzazione. La riorganizzazione porta ad una diminuzione del volume d'invaso di circa il 5%.

³ Bean, E. Z., Hunt, W. F., and Bidelsbach, D. A. (2007b). Evaluation of four permeable pavement sites in eastern North Carolina for runoff reduction and water quality impacts. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 133(6): 583-592.

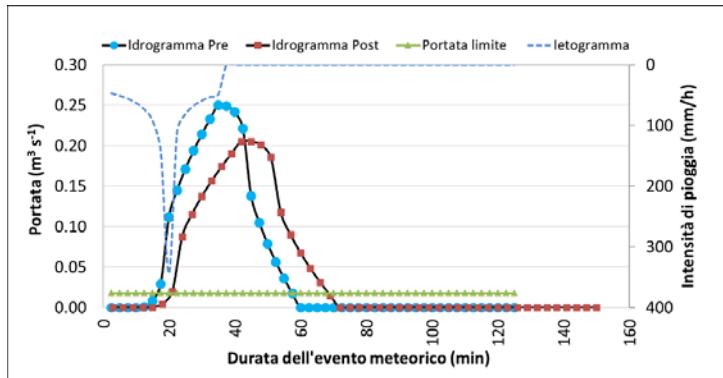


Figura 5. Idrogramma di piena pre e post riorganizzazione delle superfici A1, A2 e A4.

Riorganizzazione dei rapporti tra le superfici e adozione di soluzioni tecnologiche per la riduzione del deflusso prodotto

L'effetto combinato della riorganizzazione delle superfici e dell'adozione delle soluzioni tecnologiche per incrementare la capacità di drenaggio di queste ultime è riportato in Figura 6.

In questo caso si è ipotizzato che il tempo di corrispondenza del nuovo complesso di superfici sia incrementato da 25 min a 40 min. L'effetto combinato porta ad una riduzione del volume d'invaso, rispetto alla situazione pre-riqualificazione, del 30%.

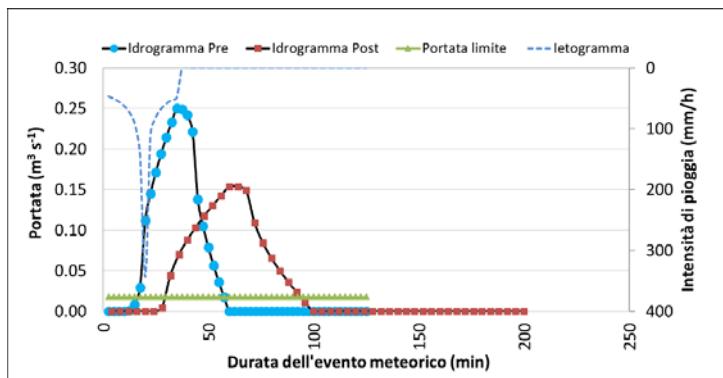


Figura 6. Idrogramma di piena pre e post riorganizzazione delle superfici e adozione delle soluzioni tecnologiche per la riduzione del deflusso prodotto.

Allegato I - Esempi di configurazioni del collegamento tra l'uscita di un invaso di laminazione e lo scarico nel ricettore

Nelle figure seguenti sono riportati alcuni esempi di configurazioni del collegamento tra l'uscita di un invaso di laminazione e lo scarico nel ricettore, sia per scarichi a gravità che per sollevamento.

Figura 16 – Particolari vasca di laminazione con scarico a gravità, con e senza deposito ad uso irriguo (da: Comune di Trento)

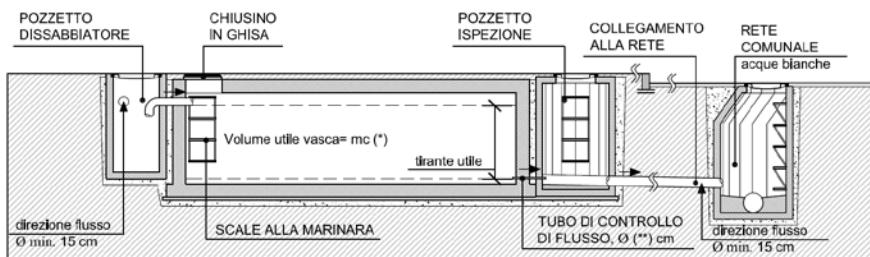
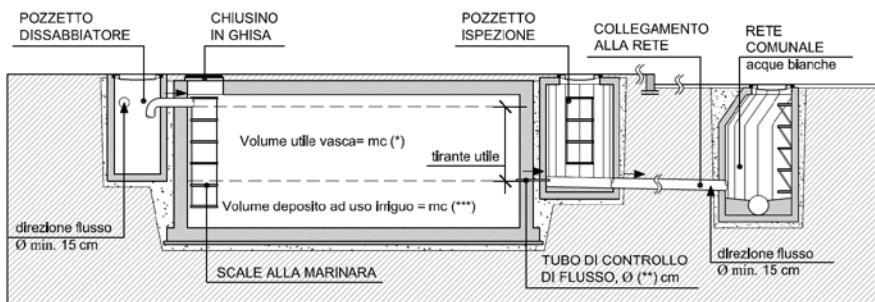
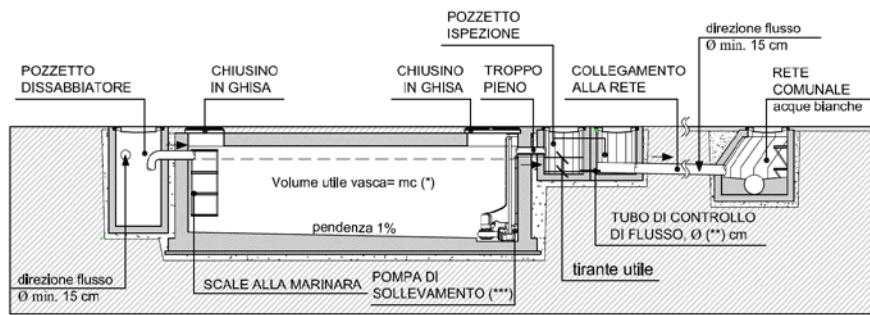


Figura 17 - Particolari vasca di laminazione con scarico mediante pompaggio, senza deposito ad uso irriguo (da: Comune di Trento)



Allegato L - Indicazioni tecniche costruttive ed esempi di buone pratiche di gestione delle acque meteoriche in ambito urbano

1. GENERALITÀ

Nel presente capitolo sono sinteticamente esposte alcune indicazioni tecniche per la realizzazione delle infrastrutture finalizzate al rispetto degli obiettivi e dei limiti indicati nei precedenti capitoli.

Si tratta di indicazioni di primo orientamento in merito alle strutture, alle caratteristiche e alle dimensioni necessarie per il conseguimento degli obiettivi richiesti. Per le determinazioni e le progettazioni di dettaglio è necessario riferirsi alla vasta letteratura tecnica dell'ingegneria idraulica del settore.

2. OPERE DI LAMINAZIONE

Generalità

Le strutture di laminazione atte all'abbattimento delle portate pluviali e meteoriche entro determinati limiti rappresentano la famiglia più numerosa di tecniche di mitigazione degli allagamenti. Questi manufatti hanno la funzione di invasare provvisoriamente una parte, anche notevole, dei volumi idrici derivanti dagli eventi meteorici, per inviarli successivamente alla depurazione o per restituirli al ricettore finale, con portata ridotta e con essi compatibile. Sono classificabili tra le strutture di immagazzinamento anche quelle che non contemplano uno scarico verso valle ma lo svuotamento attraverso l'infiltrazione.

In generale la classificazione delle opere di laminazione viene effettuata sulla base di differenti criteri, di seguito brevemente descritti:

- funzione assoluta: DETENZIONE o RITENZIONE
- posizione rispetto alla rete drenante: TRANSITO (in linea) o CATTURA (fuori linea)
- posizione rispetto al piano campagna: SUPERFICIALE o SOTTERRANEA

Detenzione: tutti i deflussi o parte di essi vengono temporaneamente invasati e contemporaneamente rilasciati attraverso gli scarichi nel sistema di drenaggio di valle, con portata limitata nei limiti prescritti al punto 1. In questo caso il volume invasato è trattenuto solo temporaneamente nell'invaso e l'onda laminata uscente da esso si sviluppa nel corso dello stesso evento meteorico.

Ritenzione: tutti i deflussi o parte di essi vengono invasati, generalmente per un lungo periodo, e non vengono rilasciati durante l'evento meteorico nel ricettore in quanto le acque accumulate vengono smaltite mediante infiltrazione, evaporazione o riuso. In questo caso quindi il volume invasato è trattenuto a lungo o permanentemente nell'invaso e l'eventuale scarico si sviluppa dopo l'evento meteorico, senza contribuire alla formazione della piena a valle. Possono venire progettati per mantenere all'interno un certo volume di acque (bacini umidi, wetland) con una vasca permanente che consente lunghi tempi di residenza idraulica, permettendo così di raggiungere elevati rendimenti di rimozione degli inquinanti, oppure possono essere disegnati in maniera da svuotarsi completamente (bacini asciutti).

Invasi di transito (in linea): tutti i deflussi derivanti dall'area scolante entrano direttamente nell'invaso e contemporaneamente escono dallo stesso passando attraverso una o più bocche di scarico limitanti la portata consegnata a valle.

Invasi di cattura (fuori linea): l'invaso è posto in derivazione rispetto al condotto o canale convogliante i deflussi derivanti dall'area scolante e viene interessato solo per portate in arrivo maggiori di un valore di soglia prefissato.

Sotterraneo: serbatoi chiusi costruiti in situ o prefabbricati, al di sotto del piano campagna e non visibili dall'esterno. La funzione da essi assolta è quella di laminazione (detenzione o ritenzione), a volte può essere previsto il trattamento delle acque.

Superficiale: aree aperte già esistenti o adattate o appositamente sbancate per la laminazione, visibili dall'esterno e almeno in parte destinabili ad altre finalità (agricoltura, fruizione pubblica, paesaggio, ecc.) nei periodi di asciutta. Possono essere aree naturali o artificiali o miste e possono anche integrare la funzione idraulica con la depurazione delle acque invasate mediante sistemi vegetati (wetlands, cunette vegetate, filter strips). Scarico anche per infiltrazione.

Strutture superficiali di laminazione

Questo tipo di strutture può essere costituito da aree depresse naturali o appositamente costruite, di estensione e forma tale da garantire un volume di ritenzione pari a quello di progetto. Esse possono essere dotate di scarico di fondo, di scarico di emergenza di superficie, di fondo impermeabile (per particolari condizioni di vulnerabilità dell'acquifero sotterraneo o per altre particolari esigenze o rischio di inquinamento delle acque di drenaggio) o di fondo drenante.

Figura 18 - Schemi di aree di ritenzione/laminazione proposte nei sistemi LID ecc.

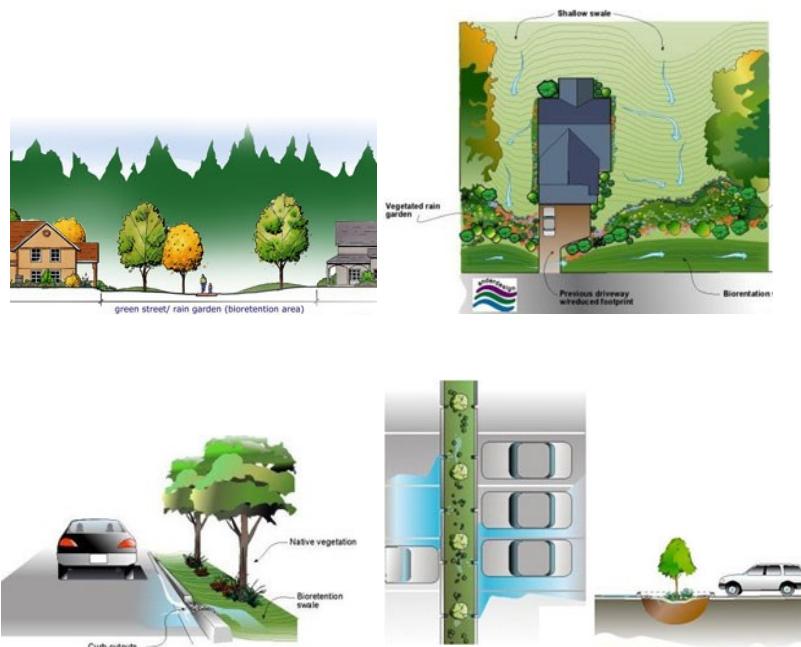


Figura 19 – Esempi di strutture superficiali di laminazione costituite da vasche e canali a cielo aperto





Figura 20 – Esempi di strutture di laminazione fuori terra delle acque dei tetti, strutturabili sia per la sola laminazione sia per il riuso



Strutture sotterranee di laminazione

Questo tipo di struttura può essere costituito da serbatoi o vasche in c.a. o altro materiale, prefabbricate o realizzate in opera, di dimensioni e forme differenti in funzione del volume, del materiale utilizzato, dell'allocazione, del riutilizzo o meno delle acque.

Nel presente capitolo vengono riportati alcuni schemi applicativi e alcuni esempi relativi a strutture sia “compatte”, sia “distribuite” in senso longitudinale. Si configura in questo secondo sistema anche il sovradimensionamento del sistema fognario necessario per il drenaggio di una determinata area, purché fornito da opportuni sistemi per limitare, a valle, la portata scaricata entro i valori massimi imposti.

I componenti di base di una struttura interrata di laminazione sono: una copertura sicura (dimensionata in funzione dei carichi attesi), un sistema di accesso per manutenzione e/o pulizia, un sistema di schermatura per le zanzare e altri animali, un sistema di filtrazione per evitare l'immissione di materiale grossolano (es. foglie o rifiuti), un tubo di troppo pieno (o, comunque, un'uscita controllata), un sistema di gestione delle

emergenze (es. alloggiamento pompe). Le caratteristiche supplementari possono includere un indicatore di livello dell'acqua, una trappola di sedimenti, o la possibilità di estendere modularmente il volume di accumulo.

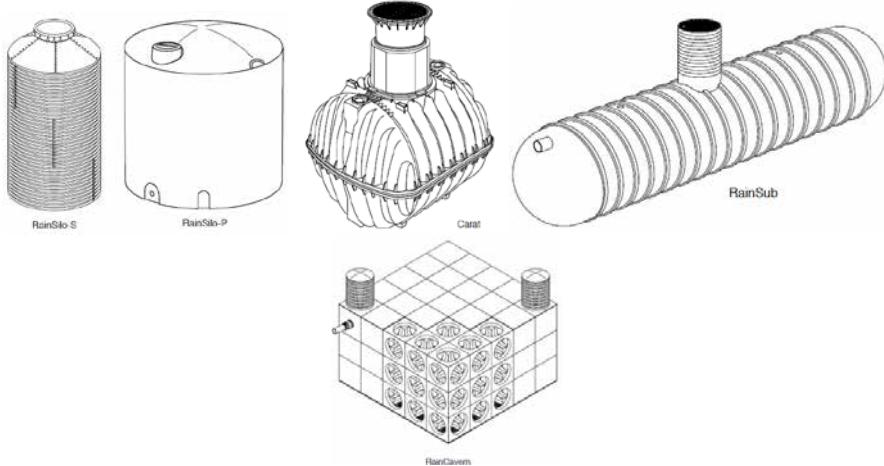
Figura 21 – Esempio di vasca di laminazione sotterranea in c.a.



Figura 22 – Esempi di applicazione di vasche di laminazione sotterranee per piccole e medie estensioni, strutturabili sia per la sola laminazione con scarico in sistema di infiltrazione, sia per il riuso (tratte dal sito <http://www.3ptechnik.it/it/home.html>)



Figura 23 – Schemi di serbatoi interrati per piccole, medie e grandi installazioni (dal sito <http://www.conserviontechnology.com>)



Una possibile installazione di strutture sotterranee di infiltrazione/ detenzione prevede l'utilizzo di tubazioni di grande diametro in c.a. o di serbatoi prefabbricati in polietilene. In questo caso la pavimentazione è di tipo tradizionale (impermeabile) e l'alimentazione avviene attraverso caditoie frequentemente corredate da filtri più o meno complessi. Le strutture serbatoio possono essere filtranti ovvero impermeabili garantendo unicamente la detenzione temporanea dei deflussi.

Figura 24 – Esempio di strutture di laminazione costituite da tubazioni sotterranee e sovradiimensionamento del sistema di drenaggio delle superfici impermeabili



Gestione e manutenzione delle opere di laminazione

In generale, è fondamentale per il corretto funzionamento degli invasi e per il mantenimento delle caratteristiche iniziali la corretta manutenzione e gestione delle opere strutturali previste. Esse dipenderanno (in termini di cosa fare e quando farlo) dalle caratteristiche proprie delle opere (interrate, superficiali, con infiltrazione, con pompaggio, ecc.).

Per quanto riguarda, in particolare, i sedimenti, occorrerà prevedere adeguati interventi di rimozione dei materiali dal bacino stesso, con modalità differenti in funzione del rischio di inquinamento degli stessi e delle loro caratteristiche.

In generale gli invasi richiedono almeno un'ispezione annuale che ne valuti le condizioni: solitamente un bacino dovrebbe essere ripulito se la profondità dei depositi è maggiore o uguale a un terzo dell'altezza dal fondo del più basso fra le aperture di afflusso e/o afflusso e i condotti presenti. La pulizia può essere effettuata sia manualmente che per mezzo di apparecchiature apposite.

Nel caso di vasche chiuse in calcestruzzo, diversi studi hanno dimostrato che i sistemi più efficaci e meno costosi per la rimozione dei rifiuti sono quelli che sfruttano il flusso dell'acqua ad alta velocità: esistono, a riguardo, differenti tecnologie basate tutte sulla creazione di un'onda di lavaggio che dilava i sedimenti dal fondo della vasca al termine di ogni episodio di riempimento-svuotamento della vasca, la principale differenza è nella modalità con cui l'acqua necessaria per il lavaggio viene accumulata e poi scaricata bruscamente all'interno della vasca stessa (Figura 21).

3. OPERE DI INFILTRAZIONE

Generalità

Le opere strutturali più diffuse che incentivano lo smaltimento per infiltrazione nel terreno di una parte dei deflussi meteorici sono le seguenti:

- trincee di infiltrazione,
- pozzi drenanti,
- bacini di infiltrazione,
- pavimentazioni permeabili,
- caditoie filtranti

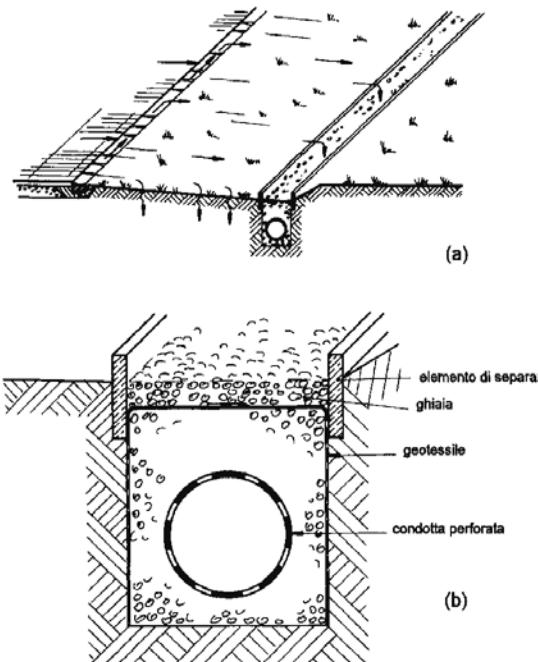
Trincee d'infiltrazione

La trincea d'infiltrazione (Figura 25) può descriversi, schematicamente, come uno scavo lungo e profondo (generalmente la profondità è compresa tra 1 e 3 metri) riempito con materiale ad alta condutività idraulica, ad esempio ghiaia o ghiaietto. La trincea viene generalmente costruita in corrispondenza di una cunetta ribassata rispetto al terreno da drenare, così che il deflusso superficiale si possa accumulare temporaneamente all'interno della trincea e gradualmente infiltrarsi nel terreno circostante attraverso le superfici laterali e il fondo.

Ogni trincea viene generalmente dotata di una condotta forata centrale, del diametro minimo DN200 mm, che ha la funzione di distribuire omogeneamente le acque lungo tutta la trincea e, ove previsto, di condurre le acque non infiltrate alla rete di scarico. Attraverso tale condotta è pure possibile operare interventi di pulizia o manutenzione straordinaria della trincea stessa.

Per mantenere più a lungo possibile le caratteristiche idrauliche della trincea, è sempre opportuno installare a monte delle trincee dei pre-trattamenti per la rimozione del particolato sottile al fine di evitare problemi di ostruzione della struttura.

Figura 25 – Trincea drenante



Le trincee possono essere allocate in superficie o nel sottosuolo: quelle in superficie ricevono il deflusso superficiale direttamente dalle aree adiacenti mentre quelle nel sottosuolo possono ricevere il deflusso da altre reti drenanti, ma richiedono l'utilizzo di ulteriori pre-trattamenti per impedire che particolato grossolano, terreno e foglie occludano la struttura.

In Figura 26 è possibile osservare una tipica trincea d'infiltrazione. Essa è costituita da uno scavo nel quale sono posti tre strati di terreno:

1. il primo, partendo dall'alto, è uno strato che ha buone qualità relativamente alla crescita della vegetazione. Si evidenzia, a proposito, un aspetto molto importante: la vegetazione, nelle trincee e, generalmente, nelle aree di infiltrazione, è fondamentale non solo per garantire l'aspetto estetico, ma anche per la rimozione dei nutrienti e la fitodepurazione delle acque e, non ultimo, perché migliora la permeabilità dei suoli;
2. il secondo (opzionale), sabbioso, ha buone caratteristiche filtranti;
3. il terzo è costituito da ghiaia o materiale naturale di elevata permeabilità per l'accumulo temporaneo d'acqua piovana.

I tre strati prima detti sono caratterizzati inoltre dall'avere conduttività idraulica crescente dall'alto verso il basso. Al contorno dello strato di detenzione è, generalmente, collocato un tessuto permeabile (geotessuto) che ostacola l'ingresso delle particelle fini all'interno del sistema.

In superficie si installa uno scarico di troppo pieno munito di pozzo d'osservazione, utile ad allontanare l'acqua in eccesso che provocherebbe inondazione in superficie.

Infine, nella trincea si colloca una condotta verticale forata, avente un diametro di circa 100÷200mm e munita di coperchio in superficie, allo scopo di osservare in ogni momento il livello idrico nello strato di base.

Per quel che riguarda il materiale di riempimento dello strato di base della struttura, può essere convenzionale (es. granito frantumato) ovvero non convenzionale (es. gabbie modulari in materiale plastico

che a parità di volume di scavo garantiscono un maggiore volume dei vuoti). Nel primo caso il diametro massimo degli aggregati non deve eccedere i 40÷80 mm, il volume dei vuoti del riempimento deve aggirarsi intorno il 30-40% e l'intero strato di riempimento è circondato da un tessuto filtrante.

La pendenza in superficie della trincea d'infiltrazione deve essere inferiore al 5%, mentre è consigliabile che quella del fondo sia prossima a zero per evitare che il liquido trovi delle traiettorie preferenziali d'infiltrazione.

Tra i vantaggi delle trincee vi sono la possibilità di essere posizionate al di sotto della superficie del terreno (installazione sotto le zone di parcheggio) e la richiesta di spazi ridotti, fatto che le rende idonee alle zone urbane. Tra gli svantaggi vi sono gli elevati costi di costruzione e manutenzione e la possibilità di intasamento.

Figura 26 - Trincea d'infiltrazione (Technical Guidelines for Western Sydney 2004)

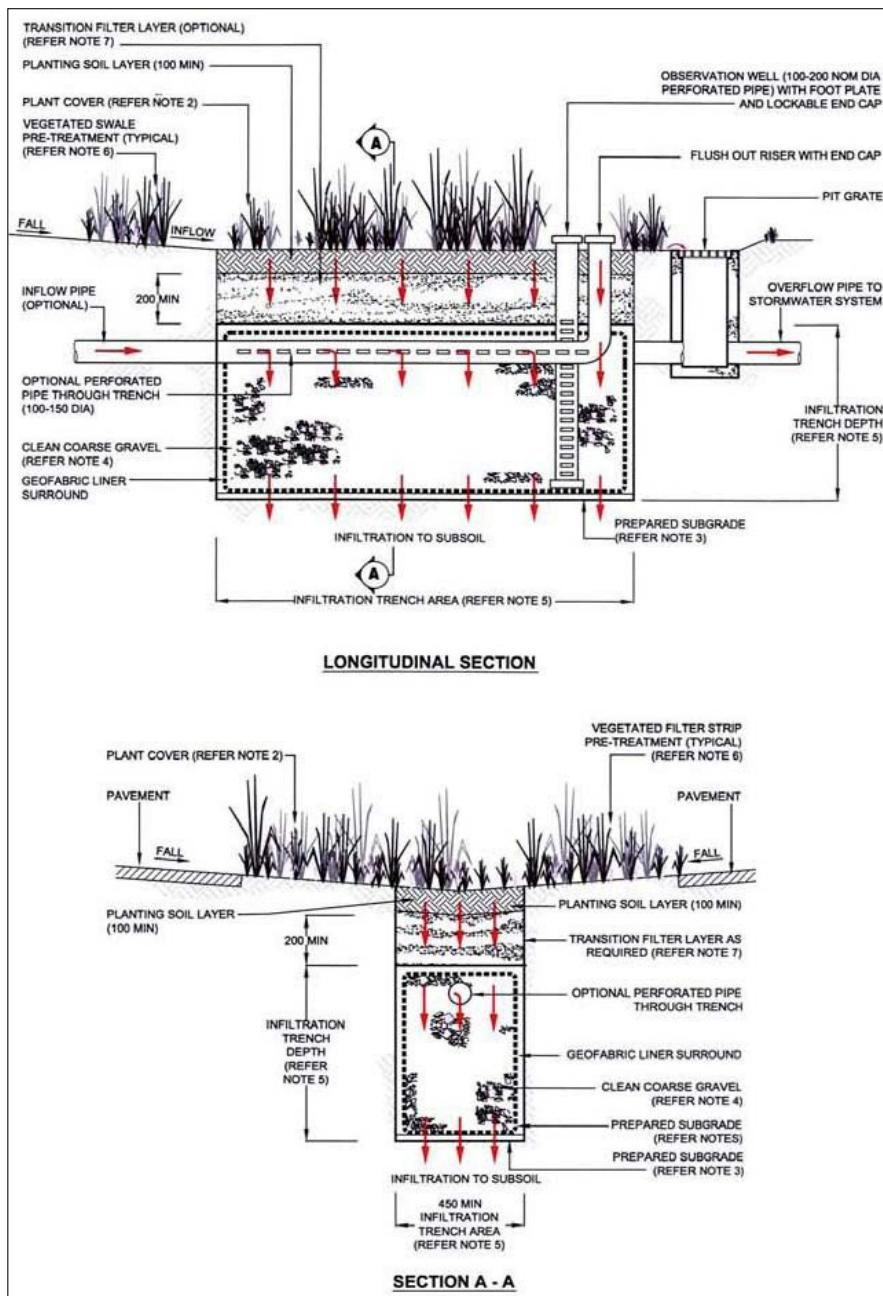


Figura 27 - Opere di infiltrazione [da: Urbonas e Stahre, 1993]

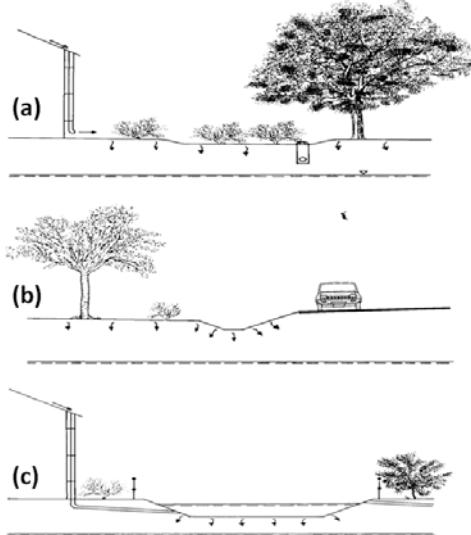


Figura 28 – Esempi di trincee d'infiltrazione



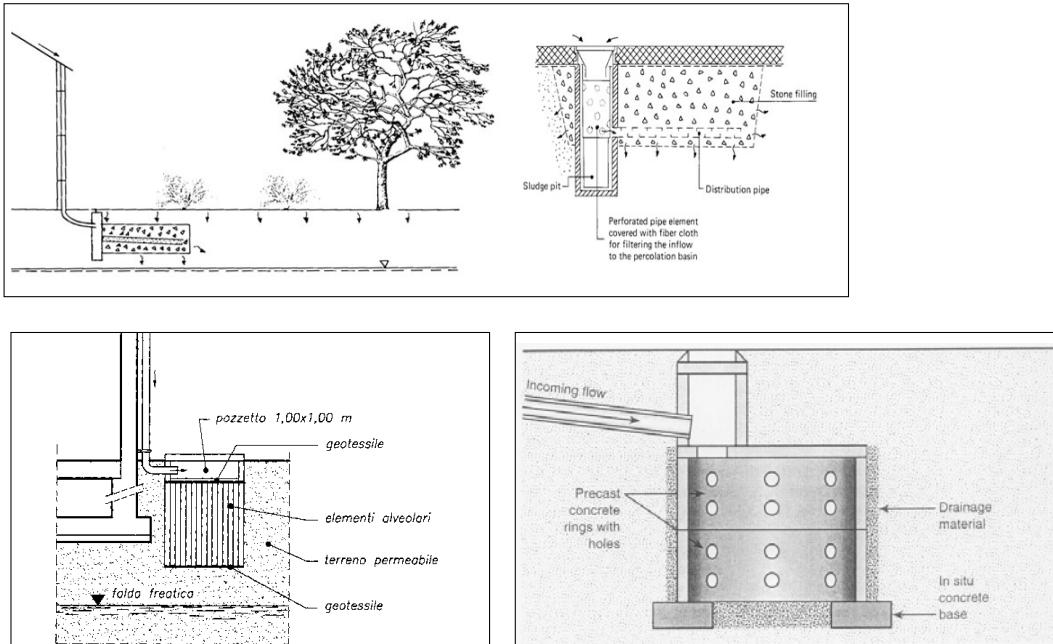
Pozzi d'infiltrazione

I pozzi d'infiltrazione sono strutture sotterranee localizzate, utilizzate principalmente per raccogliere ed infiltrare le acque di pioggia provenienti dai tetti di edifici residenziali e commerciali e/o dai piazzali (mentre, come visto, le trincee di infiltrazione sono preferibilmente utilizzate nelle strutture lineari).

I pluviali, per esempio, possono essere estesi fino al pozzo (Figura 29), che deve essere posizionato a distanza adeguata (almeno 3 metri) dalle fondamenta degli edifici.

La struttura esterna è generalmente prevista in materiale rigido (per esempio in cemento), mentre l'interno viene riempito con materiale inerte (ghiaia) con una porosità di almeno il 30%. I pozzi perdenti sono preferibilmente dotati di accesso ispezionabile al fine di garantirne la manutenzione e le prestazioni nel tempo.

Figura 29 – Esempi di pozzi d'infiltrazione



Anche per i pozzi d'infiltrazione può essere necessario prevedere l'inserimento di pre-trattamenti per l'intercettazione di sedimenti ed oli che possono ostruire la struttura. È opportuno inserire nelle grondaie dei filtri al fine di intrappolare particelle, foglie ed altri detriti.

Esistono anche in commercio dei piccoli manufatti che si inseriscono nelle grondaie e consentono il transito dell'acqua e l'espulsione delle foglie (Figura 30).

Figura 30 – Esempi di applicazioni per limitare il rischio di intasamento delle strutture di infiltrazione: filtro autopulente, filtro deviatore in linea, griglia per fogliame. (Questi esempi sono tratti, in particolare, dal sito www.3PTechnik.it)



Bacini e vasche d'infiltrazione

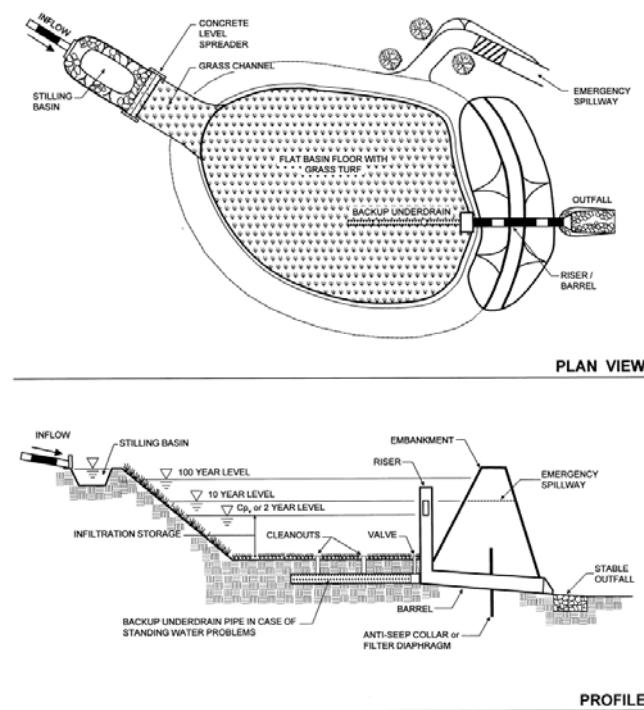
Le vasche e i bacini d'infiltrazione sono invasi a fondo permeabile.

I primi hanno generalmente i muri di contenimento in calcestruzzo e possono essere strutture anche sotterranee, mentre i secondi sono ricavati da depressioni naturali o artificiali nel terreno, quindi sempre a cielo aperto.

In entrambi i casi è indispensabile la formazione di una capacità di accumulo, come volano tra l'idrogramma di piena in arrivo e il regime delle portate infiltrate.

Nei bacini d'infiltrazione, in genere le pareti e il fondo del bacino sono ricoperte da un tappeto erboso, al fine sia di stabilizzare queste aree sia di esercitare un'azione filtrante per rimuovere le sostanze inquinanti presenti nelle acque di pioggia, come nutrienti e metalli disciolti. Inoltre, le radici vegetali possono aumentare la capacità di infiltrazione di un terreno poiché creano nello stesso dei condotti preferenziali in cui l'acqua si infiltrata. Un esempio schematico di un bacino d'infiltrazione è riportato in Figura 31, mentre nella precedente Figura 19 sono riportate alcune immagini di bacini con funzione di laminazione e infiltrazione.

Figura 31 - Schema di un bacino di infiltrazione (Scheuler, 1992)



La profondità del bacino viene calcolata tenendo conto di un tempo massimo di ritenzione dell'acqua nel bacino stesso, usualmente posto inferiore alle 48 ore.

Uno dei problemi principali e delle critiche mosse a queste strutture è il rischio di inquinamento della falda. Se le acque di pioggia contengono elevate quantità di inquinanti, per esempio acque provenienti da siti industriali o da altre superfici suscettibili di inquinamento, i bacini d'infiltrazione non dovrebbero essere utilizzati, oppure dovrebbero essere preceduti da opportuni pre-trattamenti (come filtri o disoleatori). In ogni caso, è opportuno collocare il fondo del bacino a distanza di sicurezza dal livello massimo della falda. Devono, inoltre, essere rispettati i vincoli di rispetto delle aree di salvaguardia (pozzi, aree di ricarica della falda, ecc.) indicati nella normativa.

Anche con riferimento alle strutture (edifici) esistenti o in progetto, è bene collocare il bacino a distanza di sicurezza (indicativamente almeno pari ad un rapporto pari 1:1 tra la distanza dal piano seminterrato o o interrato dell'edificio più vicino e il dislivello tra fondo vasca e quota dello stesso piano), per evitare problemi di infiltrazioni e conseguenti danni ai materiali.

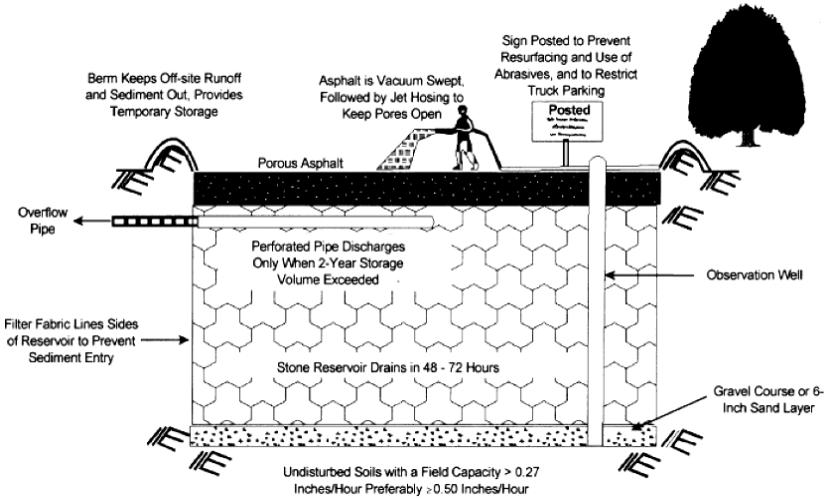
Tra i rischi di errato dimensionamento o mancanza di manutenzione di queste strutture, vi è la possibilità di mal funzionamento dovuto a terreno inadatto o ad intasamento, che possono portare a produzione di cattivi odori e al proliferare di insetti (zanzare, moscerini).

Per quanto riguarda la manutenzione, occorre provvedere alla rimozione regolare di foglie e detriti e nel prevedere una frequente potatura delle piante, degli arbusti e della vegetazione in genere. Occorre inoltre prevedere ogni 5÷10 anni di dissodare il terreno, in modo da rinnovarne lo strato superficiale.

Pavimentazioni permeabili

Le pavimentazioni permeabili sono una valida alternativa ai convenzionali lastricati di marciapiedi o zone pedonali che si propone di aumentare la permeabilità delle superfici e, conseguentemente, di minimizzare il deflusso superficiale (Figura 32).

Figura 32 - Schema di una pavimentazione permeabile (US EPA, 1998)



Esistono due tipi di pavimentazioni permeabili: continue e discontinue.

Le pavimentazioni permeabili continue sono realizzate in modo apparentemente simile alle pavimentazioni stradali normali, ma con conglomerati bituminosi o calcestruzzi permeabili, ottenuti eliminando dalla miscela la sabbia e gli altri inerti di granulometria fine. Le pavimentazioni permeabili discontinue sono invece ottenute accostando elementi prefabbricati in CLS, perforati e autobloccanti (Figura 33). In entrambi i casi al disotto della pavimentazione si realizza un sottofondo filtrante, composto da strati di granulometria crescente. Lo strato filtrante sottostante può anche essere isolato con una guaina impermeabile, trasformandosi in una specie di vasca di laminazione.

Le pavimentazioni permeabili discontinue permettono l'immediata infiltrazione di acqua di pioggia nella struttura sottostante la superficie. Un esempio sono i blocchi di calcestruzzo ed erba che formano una griglia di vuoti circondati da calcestruzzo compresso e offrono uno spazio di circa l'80% della superficie complessiva per far crescere l'erba e far infiltrare l'acqua.

Il vantaggio che le pavimentazioni permeabili discontinue presentano rispetto alle continue è in fase di ricostruzione per perdita di funzionalità. I mattoni o moduli permeabili sono rimossi, puliti e riutilizzati,

riducendo così i costi di ricostruzione, invece l'asfalto è rimosso e non più utilizzabile. Sempre in fase di rifacimento il letto di ghiaia e il tessuto filtrante sono sostituiti, mentre lo strato di base è ripristinato.

Le pavimentazioni permeabili discontinue sono collocate sopra una struttura riempita di ghiaia molto permeabile in modo che i vuoti fungano da bacino di accumulo del deflusso. Un filtro in tessuto è posto sotto il riempimento, in modo da evitare che le sottili particelle di terreno entrino nella struttura provocandone l'ostruzione.

In ogni caso le pavimentazioni permeabili continue e discontinue possono essere sagomate in modo da consentire la raccolta e laminazione anche parziale delle acque, prima dell'immissione nel sistema di drenaggio.

Figura 33 - Elementi modulari prefabbricati in calcestruzzo per pavimentazioni erbose (ASSOBETON, Associazione Nazionale Industrie Manufatti in Calcestruzzo Sezione Blocchi e Pavimenti)

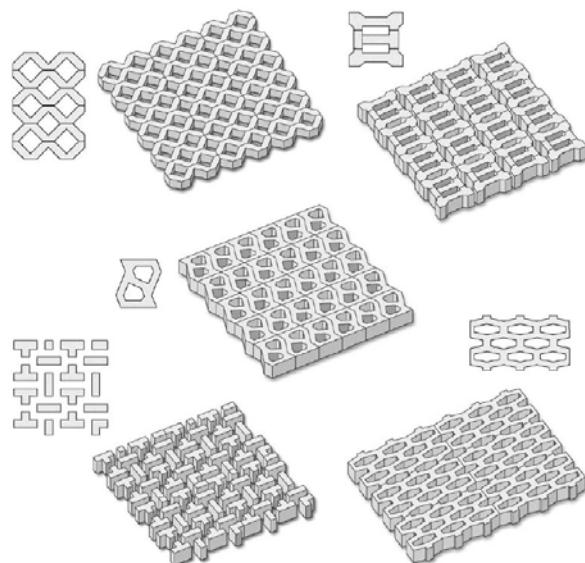


Figura 34 - Esempi di pavimentazioni permeabili



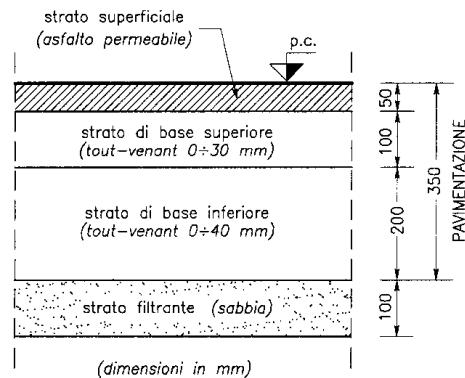
Nel progettare questo tipo di strutture è necessario considerare una serie di fattori come l'efficienza, l'impatto inquinante sul corpo ricettore e la localizzazione di siti adatti.

L'efficienza di una pavimentazione permeabile dipende, oltre che dalla corretta esecuzione e manutenzione dello strato più superficiale, dalla tipologia adottata per gli strati sottostanti, posti fra quello più superficiale

e il terreno di base. A sua volta, tale tipologia dipende dalla natura del sottosuolo: risulta infatti chiaro che, qualora questo possieda già buone caratteristiche drenanti, tali strati hanno solo la funzione di vettori delle portate infiltrate e di eventuale filtro nei confronti degli inquinanti da queste veicolate; invece, qualora non sussistano le garanzie di permeabilità del sottosuolo, l'intera pavimentazione assume un ruolo di accumulo, anche se temporaneo, delle acque infiltrate, che vengono gradualmente restituite al sistema drenante di cui la pavimentazione deve essere dotata e che è direttamente collegato al ricettore.

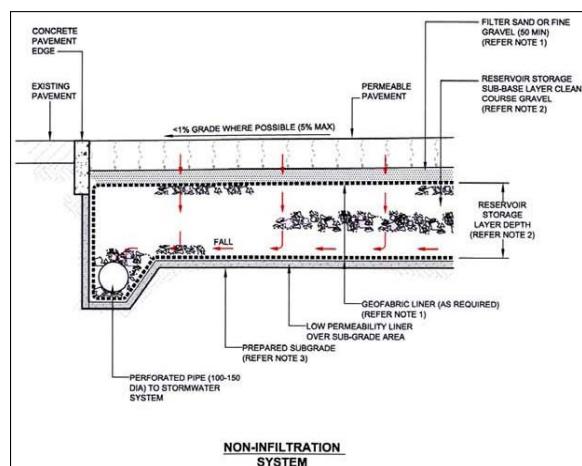
Nella seguente Figura 35, è riportato uno schema di pavimentazione permeabile continua: da essa si rileva chiaramente l'obiettivo di garantire una sufficiente permeabilità della pavimentazione stessa, grazie a due strati in ghiaia o pietrisco di pezzatura non superiore a 30÷40 mm, oltre che di proteggere il sottosuolo dalla filtrazione di inquinanti, mediante lo strato di sabbia (Watanabe, 1995).

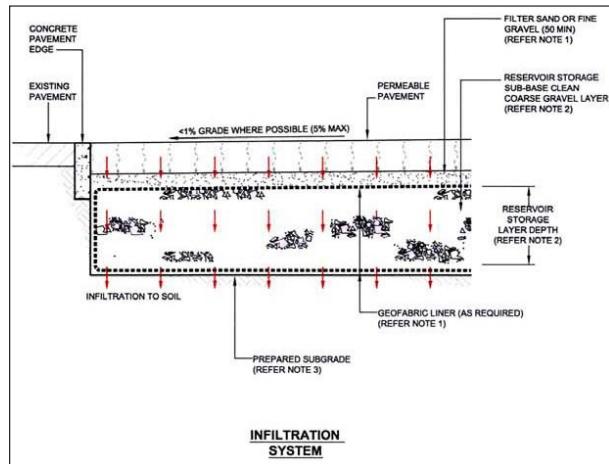
Figura 35 – Esempio di pavimentazione porosa



Invece nella seguente Figura 36 vengono riportati due schemi di pavimentazioni drenanti con due differenti "strutture a serbatoio", dimensionate al fine di garantire una prefissata capacità di accumulo. La prima struttura prevede uno scarico solamente mediante la rete di drenaggio, la seconda prevede l'infiltrazione. Oltre ai materiali tradizionali (sabbia, ghiaia), possono essere utilizzati anche quelli sintetici, caratterizzati da una percentuale di vuoti superiore al 90%, grazie alla particolare forma a nido d'ape (Balades e altri, 1995).

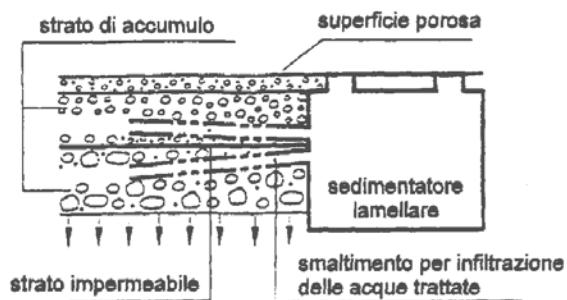
Figura 36 – Schema di pavimentazioni drenanti con due diversi tipi di drenaggio (Technical Guidelines for Western Sydney 2004)





Nel caso in cui si voglia proteggere il sottosuolo dalla propagazione di inquinanti, e in particolar modo dai pericoli di occlusione prodotta dalla presenza di eccessive concentrazioni di solidi sospesi nelle acque infiltrate, si può ricorrere alla realizzazione di due strutture serbatoio sovrastanti, in comunicazione mediante due sistemi di dreni collegati da un bacino di sedimentazione, attraverso il quale le acque devono obbligatoriamente passare per raggiungere il serbatoio sottostante (Figura 37) (Balades e altri, 1991).

Figura 37 - Esempio di struttura serbatoio con pretrattamento delle acque a monte dell'infiltrazione nel suolo (Balades e altri, 1991)



Indagini su campo eseguite in Florida hanno evidenziato che le pavimentazioni filtranti utilizzate nelle aree di parcheggio, se correttamente installate e controllate, continuano ad infiltrare le acque piovane anche dopo 15 anni.

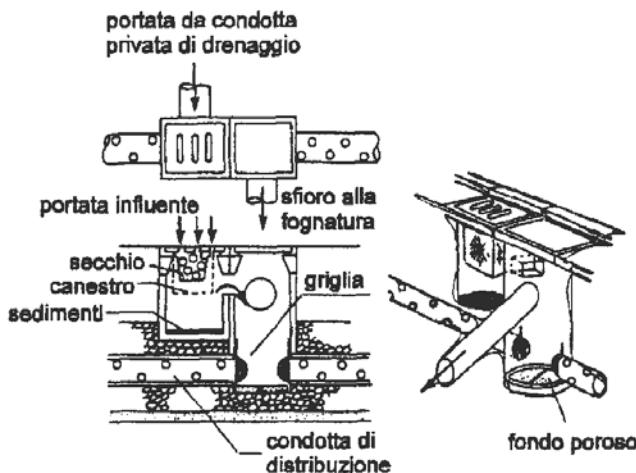
Caditoie filtranti

Attraverso l'utilizzo delle caditoie filtranti si cerca di facilitare l'infiltrazione nel suolo delle acque di origine meteorica che si raccolgono sui tetti o sulle superfici stradali (Figura 38).

Le acque accumulate lungo le cunette stradali sono scaricate in caditoie munite di una prima camera finalizzata alla separazione dei solidi grossolani (foglie e inerti); successivamente, le acque passano in una seconda camera, munita di fondo drenante, da cui si diparte la trincea drenante.

L'ingresso in questa è protetto da una griglia, al fine di evitare pericoli di occlusione; anche in questo caso, un tubo centrale consente l'avvio delle acque in fognatura, qualora venga superata la capacità d'infiltrazione del sistema, evitando così il pericolo di allagamenti superficiali. La manutenzione di tali strutture consiste nella rimozione dei materiali grigliati o sedimentati alcune volte l'anno.

Figura 38 - Esempio di caditoia utilizzata per lo smaltimento delle acque provenienti da superfici stradali (Fujita, 1994)



In relazione al dimensionamento delle caditoie si può fare riferimento agli stessi metodi validi per le trincee drenanti.

4. ALTRE OPERE DI INVARIANZA IDROLOGICA: TETTI E PARETI VERDI

Il verde pensile e le pareti verdi si inseriscono a pieno titolo tra gli strumenti di mitigazione e compensazione ambientale, presentando le seguenti utilità:

- riducono gli afflussi ai sistemi di drenaggio mediante la ritenzione e la detenzione delle acque meteoriche;
- permettono di contenere l'aumento delle temperature, attraverso l'evapotraspirazione e l'assorbimento della radiazione solare incidente
- abbattono considerevolmente il ricircolo delle polveri inquinanti, mediante la capacità di assorbimento e trattenuta delle stesse
- preservano la biodiversità grazie alla creazione di nuovi ambienti di vita per animali e piante;
- mitigano l'inquinamento acustico con la riduzione della riflessione del suono all'esterno e della diffusione all'interno;
- attuano i processi del ciclo dell'acqua, tramite la ritenzione (immagazzinamento e dispersione) del volume di pioggia.

Le diverse tecnologie attualmente impiegate per la realizzazione dei tetti verdi e, in generale, del verde pensile, devono riprodurre, in linea di principio, una stratificazione composta da diversi elementi, oltre all'elemento di supporto strutturale (soletta, copertura) e all'elemento di tenuta (impermeabilizzazione) che rappresentano la superficie di posa per il verde pensile. Vengono, infatti, generalmente impiegati i seguenti elementi:

1. strato antiradice (integrato o meno) e strato d'accumulo e protezione meccanica;
2. strato drenante;
3. strato filtrante;
4. substrato di vegetazione;
5. accessori (per il drenaggio e l'irrigazione);
6. vegetazione.

Figura 39 - Tecniche costruttive convenzionali di tetto verde estensivo (tratti dall'articolo Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services, pubblicato sul sito <http://www.bioone.org> dell'American Institute of Biological Sciences). (a) Impianti completi: ogni componente, compresa la membrana del tetto, viene installato come parte integrante del tetto. (b) Impianti modulari: vassoi di vegetazione coltivata ex situ vengono installati al di sopra del sistema di copertura esistente. (c) strati di vegetazione precoltivata: il terreno di coltura, le piante, stuioie di drenaggio, e le barriere vengono srotolate sulla copertura esistente. Grafica: Jeremy Lundholm

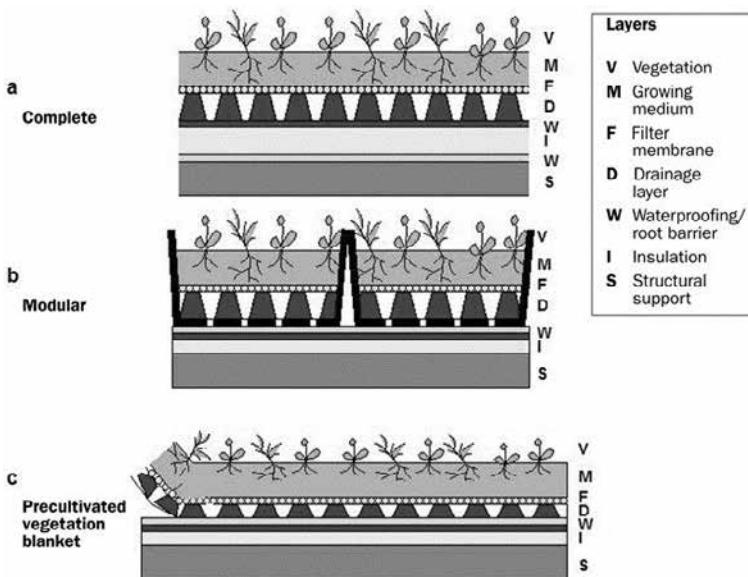


Figura 40 – Schema della composizione di un tetto verde (da Palla et al, Università di Genova, in atti del corso di aggiornamento Stadium tenuto dal Politecnico di Milano – Marzo 2012)

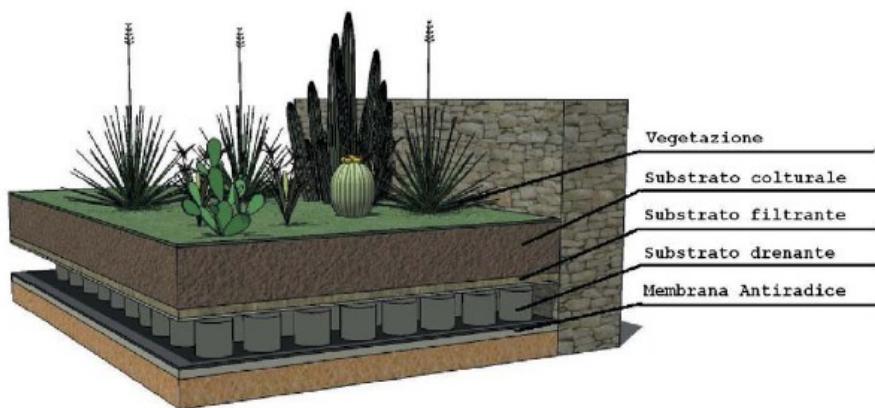


Figura 41 - Esempio pratico di tecnica costruttiva di tetto verde/ verde pensile



Le esperienze effettuate su molteplici siti pilota, ad esempio quelle effettuate presso l'Università di Genova, indicano che le prestazioni idrauliche di una copertura verde sono molto influenzate dalle condizioni meteo climatiche in cui avviene la precipitazione, comportando comunque riduzioni significative sia dei volumi idrici scaricati sia delle portate di picco degli idrogrammi per effetto della volatizzazione esercitata dal volume idrico contenuto nel substrato dell'apparato sia del consumo per evapotraspirazione dell'acqua di imbibizione del medesimo.

Alcune indicazioni tecniche possono essere ricavate dal sito dell'EPA (United States Environmental Protection Agency), agenzia governativa statunitense per la protezione dell'ambiente, il cui sito internet risulta molto esaustivo e utile (www.epa.gov), anche in base alla lunga esperienza in termini di utilizzo di sistemi LID.

Nel sito sono presenti anche utili riferimenti a studi condotti in merito all'efficienza dei tetti. Si riportano qui, in particolare, le conclusioni del seguente studio pubblicato dall'EPA: EPA/600/R-09/026 February, 2009 (il lavoro è stato svolto dal Penn State Green Roof Center of The Pennsylvania State University at University Park, PA)

Questo progetto ha valutato i tetti verdi come strumento di gestione delle acque piovane, in termini di riduzione del volume scaricato e del controllo degli inquinanti. In particolare, sono stati confrontati: la quantità e la qualità del deflusso dai tetti verdi e asfaltati pianeggianti; l'evapotraspirazione da tetti verdi piantumati e l'evaporazione da tetti spogli. Sono stati studiati l'influenza del tipo e dello spessore del supporto e l'effetto dei periodi asciutti (e secchi) durante l'impianto del sistema verde, sullo sviluppo delle piante e sulla gestione a lungo termine del pH dei supporti. L'obiettivo del progetto era quello di fornire dati di alta qualità che possano essere utilizzati per fornire indicazioni attendibili di volumi di deflusso e di carichi prevedibili dai tetti verdi, oltre a valutare i fattori di impatto sulla crescita e lo sviluppo delle piante. I risultati indicano che i tetti verdi sono in grado di rimuovere il 50% del volume annuale delle precipitazioni da un tetto attraverso la conservazione e l'evapotraspirazione. La rimanente parte di precipitazione deve essere trattenuta mediante una laminazione. Naturalmente ogni precipitazione reale può generare effetti molto variabili in funzione delle sue caratteristiche in termini di durata, intensità, nonché in funzione dello stato del supporto all'inizio del fenomeno. Si sottolinea anche il fatto che il deflusso dal tetto verde contiene concentrazioni non trascurabili di alcune sostanze nutritive e di altri parametri, ma i valori riscontrati sono in linea con altri sistemi piantumati.

Un'altra fonte (Figura 42) mostra di fatto lo stesso ordine di grandezza di efficacia del verde pensile in termini di laminazione delle acque meteoriche.

Figura 42 - Confronto tra la capacità di regimazione idrica di una copertura con zavorratura in ghiaia e una copertura a verde pensile estensivo con spessore del substrato di 10 cm (Germania)

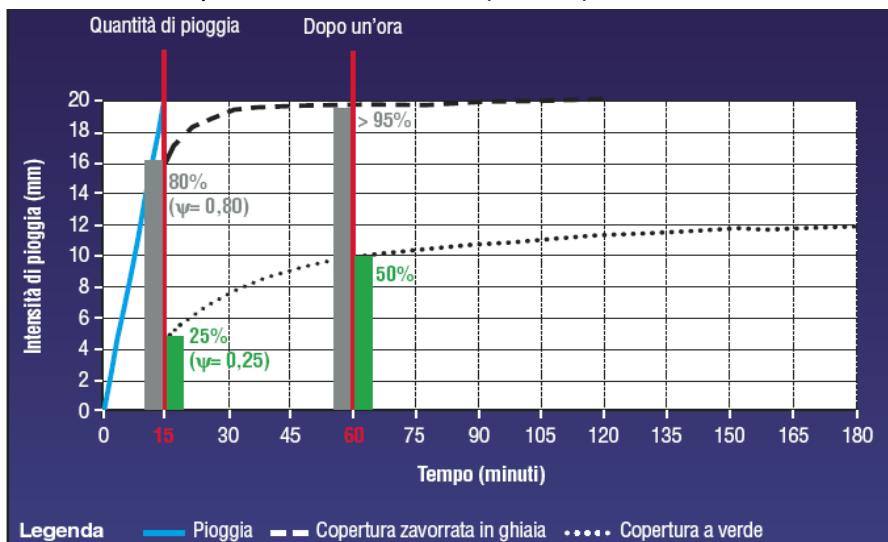


Figura 43 - Esempi di applicazione di verde pensile orizzontale e inclinato



I tetti e le pareti verdi, oltre ai suddetti indubbi vantaggi di tipo idrologico e ambientale, anche per le ottime ricadute in termini di minore esigenza energetica di condizionamento degli ambienti interni, presentano per contro oneri manutentivi (soprattutto le pareti verdi) non indifferenti che devono essere opportunamente considerati in un bilancio costi-benefici complessivo.

5. OPERE DI SCARICO E MANUFATTI DI CONTROLLO

Il manufatto idraulico per la regolazione e restituzione alla fognatura o al corpo idrico ricevente della portata di acque meteoriche ammessa al recapito dovrà essere costituito da pozzetto a doppia camera, tale da consentire l'ispezionabilità dello scarico e la misura delle portate scaricate e delle tubazioni di collegamento con il ricettore. Gli schemi riportati in Allegato I possono essere un utile riferimento tecnico.

Sarà opportuno, per le installazioni relative a piccole estensioni e per le quali, quindi, risulta più problematico garantire contemporaneamente una ridotta portata di deflusso e la garanzia di non ostruzione della tubazione di scarico, installare, in corrispondenza dello scarico, opportuni sistemi di regolazione di portata a luce variabile (Figura 44) o i regolatori di portata a vortice (Figura 45).

Il loro scopo è quello di mantenere la portata in uscita il più possibile costante al variare del carico idraulico. Generalmente sono bocche a battente con paratoie regolabili, con imbocco mobile o deformabile.

Figura 44 - Sistemi di regolazione di portata a luce variabile per la gestione delle portate scaricate dalle opere di laminazione

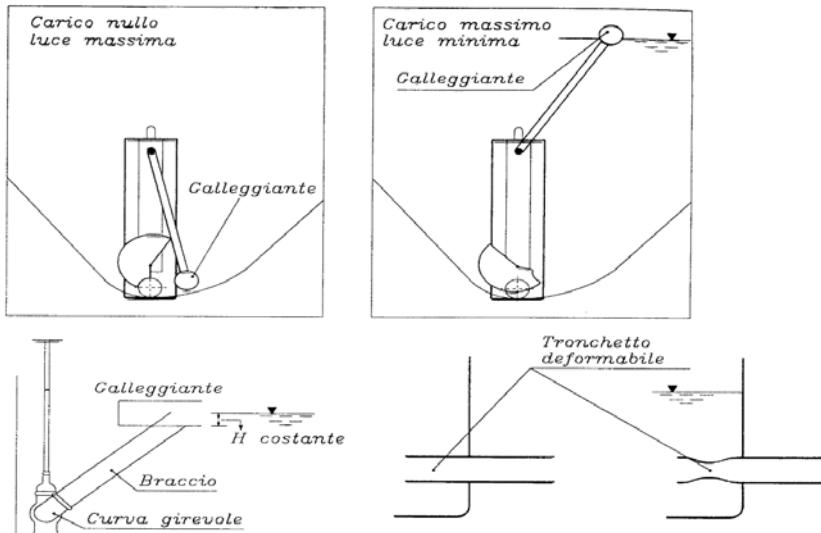
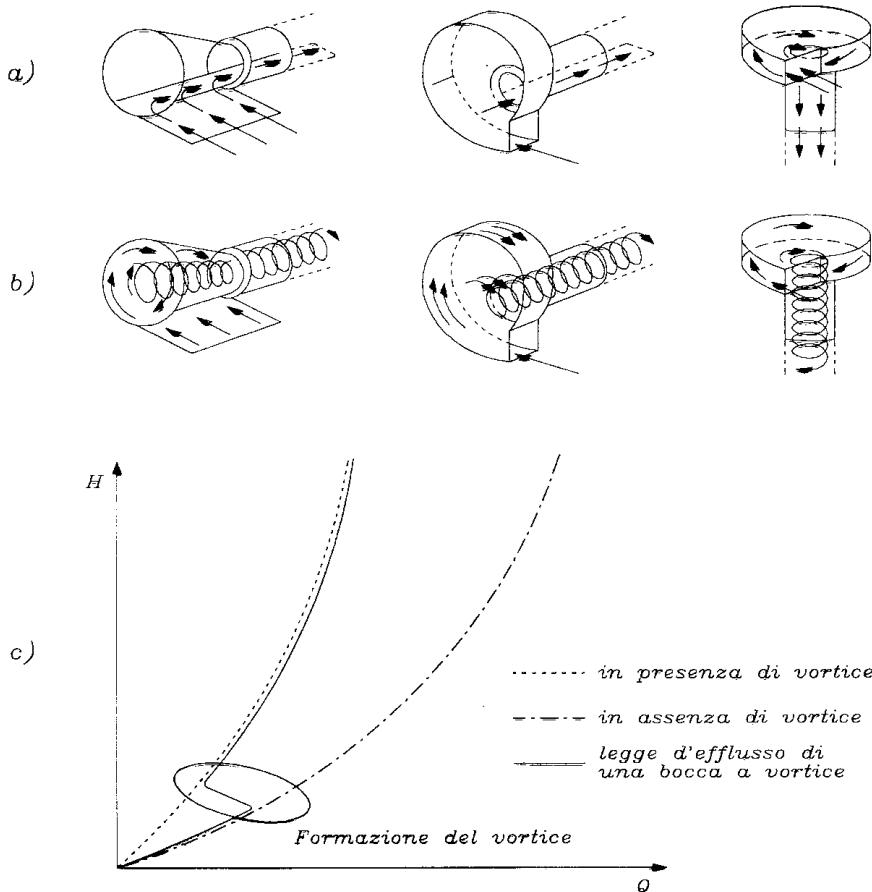


Figura 45 - Regolatori di portata a vortice



Essi vengono chiamati anche hydrobrake o vortex amplifier nella terminologia anglosassone. Possono essere a due o a tre vie. Il moto vorticoso riduce sensibilmente il coefficiente d'efflusso a valori prossimi a (0.2÷0.3). La loro installazione consente di mantenere le luci di efflusso più ampie, quindi meno intasabili, e di garantire l'autopulizia dello scarico per effetto del vortice.

Infine, qualora fosse temibile il rigurgito dal ricettore, risulta opportuno installare sull'uscita una valvola di non ritorno o ventilabro, a protezione degli invasi propri, a salvaguardia dalla intromissione di acque parassite per il sistema acque meteoriche.

Allegato M – Calcolo del costo unitario parametrico per la monetizzazione

Ai fini dell'applicazione del comma 5, lettera g) dell'articolo 58bis della legge regionale 12/2005, è opportuno premettere che ogni deroga alla realizzazione diretta dell'invarianza idraulica e idrologica all'interno di un intervento soggetto al presente regolamento comporta che il corrispondente deflusso sia immesso tal quale nel ricettore, con ciò penalizzando il principio della riduzione dei deflussi meteorici *a monte* del ricettore stesso. Infatti, il successivo intervento del comune, a compenso del principio di invarianza idraulica, avviene inevitabilmente *a valle* dell'intervento, e precisamente laddove lungo il reticolo del ricettore, anche molto a valle dell'intervento, sia stata prevista la realizzazione della struttura centralizzata di controllo dei deflussi nello Studio comunale di gestione del rischio idraulico o nel Documento semplificato del rischio idraulico comunale di cui all'articolo 14 del regolamento. Ne consegue la necessità di delimitare rigorosamente i casi in cui sia ammissibile l'impossibilità a ottemperare direttamente ai principi di invarianza idraulica e idrologica, delimitazione contenuta nell'art 16, commi 1 e 2 del regolamento.

La suddetta delimitazione dei casi ammissibili è anche necessaria per consentire ai comuni di tenerne conto ai fini di una corretta predisposizione del suddetto Studio comunale di gestione del rischio idraulico o del Documento semplificato del rischio idraulico comunale nel quale sono previsti gli interventi pubblici necessari per soddisfare i principi di invarianza idraulica e idrologica.

Le superfici necessarie per la realizzazione dei volumi di laminazione per l'invarianza idraulica e idrologica risultano contenute in una frazione ridotta della superficie interessata dall'intervento anche nei casi in cui il volume di laminazione raggiunga i valori specifici massimi, ad esempio dell'ordine di 1.000 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento, ovvero di 0,1 mc per mq di superficie scolante impermeabile dell'intervento.

Gli invasi di laminazione hanno costo di costruzione molto variabile in funzione della loro tipologia e configurazione adottata dal progetto. In particolare le "infrastrutture verdi", oltre a soddisfare il generale interesse ambientale, urbanistico e paesistico di riqualificazione dei territori urbani, presentano un costo di costruzione e manutenzione molto contenuto rispetto agli invasi realizzati in strutture murarie o in calcestruzzo aperte o chiuse.

Infatti, un invaso realizzato modellando opportunamente un'area verde (Figura 46 a) presenta un costo di costruzione dell'ordine massimo di 50 – 100 euro/mc, ma in molti casi anche sensibilmente inferiore e al limite nullo, qualora esso sia attentamente considerato nell'insieme della progettazione multidisciplinare dell'intervento. Per contro un invaso realizzato con una vasca chiusa in calcestruzzo (Figura 46 b) presenta un costo medio di costruzione dell'ordine di 500 – 800 euro/mc in funzione anche della complessità del suo equipaggiamento elettromeccanico e di controllo.

Figura 46. Invasi di laminazione realizzati con interventi "verdi" (a) o con vasche chiuse in calcestruzzo (b).



a)



b)

In ogni caso il costo di costruzione dei volumi di laminazione è percentualmente modesto, anche nei casi di vasche chiuse, rispetto al costo globale di un intervento edilizio.

Infatti ricordando che i volumi di invaso derivanti dalle modalità di calcolo previste nel presente regolamento possono avere valori da 400 a circa 1.000 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento, ovvero di $0,04 \div 0,1$ mc per mq di superficie scolante impermeabile dell'intervento, il loro costo di costruzione è pari a:

- costo vasca = $50 \div 800$ euro/mc $\times 0,04 \div 0,1$ mc/mq = $2 \div 80$ euro per mq di superficie scolante impermeabile dell'intervento.

Per contro il costo medio unitario di costruzione di un intervento edilizio è maggiore del precedente di uno - due ordini di grandezza per edificazioni di un solo piano o di due -tre ordini di grandezza e anche più nel caso di edificazioni che prevedano più piani sovrapposti.

Essendo dunque molto ridotto il peso economico delle misure di invarianza idraulica poste a carico del soggetto attuatore dell'intervento ed essendo per contro usualmente rilevante il costo di costruzione delle infrastrutture pubbliche di laminazione poste a carico dei comuni o dei gestori d'ambito del servizio idrico integrato, è opportuno che la monetizzazione a favore dei comuni per i casi di impossibilità di cui all'articolo 16, comma 1 del regolamento sia commisurata al costo unitario di costruzione delle vasche strutturalmente e tecnologicamente costose.

Occorre inoltre tener conto della capitalizzazione dei costi di esercizio e manutenzione trasferiti al comune che nel lungo arco di vita dell'opera può commisurarsi almeno al 30% del costo di costruzione.

Il costo unitario di costruzione di una vasca di volanizzazione o laminazione o di trattenimento/disperdimento da assumere in caso di monetizzazione è definito a partire da un costo medio alto (570 €/mc, relativo a vasche tecnologicamente avanzate) aumentato del 30% (costi di esercizio e manutenzione), ottenendo un costo pari a 750 euro per mc di invaso.

Allegato M bis – Modulo per il monitoraggio degli adempimenti pianificatori sull'invarianza idraulica e idrologica di cui all'art. 14 del regolamento

La compilazione del presente modulo ha il fine di monitorare lo stato di attuazione della normativa sull'invarianza idraulica e idrologica per quanto attiene le competenze comunali.

DICHIARAZIONE SOSTITUTIVA DELL'ATTO DI NOTORIETÀ
(Articolo 47 D.P.R. 28 dicembre 2000, n. 445)

La/Il sottoscritta/o (nome, cognome)
in qualità di legale rappresentante, o suo delegato, del Comune di
..... in Provincia di

consapevole delle sanzioni penali, nel caso di dichiarazioni non veritieri, di formazione o uso di atti falsi, previste e richiamate dal D.P.R. 28 dicembre 2000, n. 445 e ss.mm.ii.,

DICHIARA

- che **non sono intervenuti ulteriori modifiche o aggiornamenti** dei contenuti del “Documento semplificato del rischio idraulico comunale” e/o dello “Studio comunale di gestione del rischio idraulico” o **loro redazioni/approvazioni/recepimenti nel P.G.T.** rispetto a quanto precedentemente dichiarato con la compilazione del Modulo M bis inviato a Regione, con posta elettronica certificata ed all’indirizzo di posta certificata **invarianza.studi@pec.regione.lombardia.it**, con protocollo n. del

oppure

- che è la **prima compilazione** del Modulo M bis;
 che è una **successiva compilazione** del Modulo M bis, resasi necessaria a seguito di modifiche o di aggiornamenti dei contenuti del “Documento semplificato del rischio idraulico comunale” e/o dello “Studio comunale di gestione del rischio idraulico” o loro redazioni/approvazioni/recepimenti nel P.G.T. rispetto a quanto precedentemente dichiarato e inviato a Regione con comunicazione elettronica al protocollo n. del

a tal riguardo **ASSEVERA**

- 1) che il Comune di ricade, come da Allegato C del r.r. 7/2017, all'interno dell'area:

- A: ad alta criticità idraulica
 B: a media criticità idraulica
 C: a bassa criticità idraulica

- 2) per il “DOCUMENTO SEMPLIFICATO DEL RISCHIO IDRAULICO COMUNALE”:

- 2.1) con riferimento alla sua redazione:

l'affidamento **dell'incarico è avvenuto con atto di** n.
del **e ad oggi:**

- il documento semplificato risulta ultimato;
- la sua redazione è in corso, con conclusione prevista entro l'anno

l'incarico **non è stato ancora affidato, ma si stima che avverrà entro l'anno**

2.2) con riferimento alla sua approvazione:

è stato approvato con n. del
.....;
 non è stato approvato.

2.3) con riferimento al suo recepimento nel P.G.T.:

è stato recepito nel P.G.T. con variante approvata con delibera di consiglio comunale n.
del;
 non è stato recepito nel P.G.T.. Il suo recepimento nel P.G.T. è previsto entro l'anno

2.4) con riferimento a successive modifiche o aggiornamenti dei suoi contenuti:

si sono resi necessari nel (anno) e per i seguenti
motivi..... Ad oggi, il documento aggiornato
risulta redatto/approvato/recepito nel P.G.T.;;
 ad oggi, non si rendono necessari.

3) per lo "STUDIO COMUNALE DI GESTIONE DEL RISCHIO IDRAULICO":

3.1) con riferimento alla sua redazione:

l'affidamento **dell'incarico è avvenuto con atto di** n.
del **e ad oggi:**
 lo studio risulta ultimato;
 la sua redazione è in corso, con conclusione prevista entro l'anno

l'incarico non è stato ancora affidato, ma si stima che avverrà entro l'anno

3.2) con riferimento alla sua approvazione:

è stato approvato con n. del
.....;
 non è stato approvato.

3.3) con riferimento al suo recepimento nel P.G.T.:

è stato recepito nel P.G.T. con variante approvata con delibera di consiglio comunale n.
del;
 non è stato recepito nel P.G.T.. Il suo recepimento nel P.G.T. è previsto entro l'anno

3.4) con riferimento a successive modifiche o aggiornamenti dei suoi contenuti:

si sono resi necessari nel (anno) e per i seguenti
motivi..... Ad oggi, il documento aggiornato
risulta redatto/approvato/recepito nel P.G.T.;;
 ad oggi, non si rendono necessari.

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti di cui all'articolo 13 del Dlgs 196 del 30 giugno 2003, che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

.....

Il Dichiarante

(luogo e data)

(con firma digitale)

Allega:

delega del legale rappresentante