



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDÈNZIA

PRESIDENZA

AUTORITA' DI BACINO REGIONALE DELLA SARDEGNA

**LINEE GUIDA E INDIRIZZI OPERATIVI PER
L'ATTUAZIONE DEL PRINCIPIO
DELLA INVARIANZA IDRAULICA**

(articolo 47 delle NTA del PAI)

Allegato alla Deliberazione del Comitato Istituzionale n. del

Sommario

1	PREMESSA.....	3
2	DEFINIZIONE DELLE CLASSI DI INTERVENTO	7
3	CRITERI PER L'APPLICAZIONE DEL PRINCIPIO DELL'INVARIANZA IDRAULICA .	10
3.1	CLASSE DI INTERVENTO a)	10
3.2	CLASSE DI INTERVENTO b)	10
3.2.1	Stima dell'idrogramma di piena.....	11
3.3	CLASSE DI INTERVENTO c)	12
3.3.1	Stima dell'idrogramma di piena.....	19
3.4	CLASSE DI INTERVENTO d)	20
4	Cenni sulle modalità realizzative delle principali misure compensative.....	21

Allegati

Allegato 1 - Coefficienti di afflusso ϕ e valori del CN

Allegato 2 - Esempio di calcolo idraulico – Classe di intervento b

Allegato 2 – Annesso - Foglio di calcolo - classe intervento b

Allegato 3 - Esempio di calcolo idraulico – Classe di intervento c

Allegato 3 Annesso - Foglio di calcolo – classe intervento c

Allegato 4 - Schede tecniche per la progettazione delle principali misure compensative.

**DEFINIZIONE DI LINEE GUIDA E INDIRIZZI OPERATIVI PER L'ATTUAZIONE
DEL PRINCIPIO DELLA INVARIANZA IDRAULICA
DI CUI ALL'ARTICOLO 47 DELLE NTA DEL PAI**

Relazione

1 PREMESSA

L'aggiornamento in data 30 Novembre 2015 delle attività previste negli Accordi di Collaborazione di cui al Prot.n.12579/Rep.n.6 del 30.12.2013 (1° Accordo) e al Prot.n.3528/Rep.n.1 del 02.04.2014 (2° Accordo) tra l'Agenzia del Distretto Idrografico della Regione Sardegna (ADIS) e il Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR), al punto 7 del paragrafo delle premesse prevede che il DICAAR fornisca supporto scientifico e tecnico per attività di ricerca finalizzate alla definizione di linee guida e indirizzi operativi per l'attuazione concreta del principio della invarianza idraulica di cui all'articolo 47 delle Norme di Attuazione (NA) del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) e per la definizione di Linee guida e indirizzi operativi per opere di riduzione della vulnerabilità degli edifici esistenti di cui all'articolo 49 delle NA del PAI. Con riferimento al primo punto, relativo alla *“definizione di linee guida e indirizzi operativi per l'attuazione concreta del principio della invarianza idraulica”*, di seguito sono riportati i risultati delle prime analisi e verifiche in ambito applicativo.

Nella prima parte della presente relazione sono quindi date alcune indicazioni generali, in parte mutuata da norme già predisposte in tal senso da altre Autorità di Distretto, nella seconda parte sono illustrate in termini più espliciti le modalità di applicazione a casi reali dei principi e delle metodologie proposte. Sono inoltre fornite in allegato le descrizioni esemplificative delle realizzazioni e lo sviluppo numerico dei calcoli.

Testualmente l'articolo 47 delle NA del PAI è così articolato:

- 1. Per invarianza idraulica si intende il principio in base al quale le portate di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei recettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione.*
- 2. I comuni in sede di redazione degli strumenti urbanistici generali o di loro varianti generali e in sede di redazione degli strumenti urbanistici attuativi, stabiliscono che le trasformazioni dell'uso del suolo rispettino il principio dell'invarianza idraulica.*

3. *Gli strumenti urbanistici generali ed attuativi individuano e definiscono le infrastrutture necessarie per soddisfare il principio dell'invarianza idraulica per gli ambiti di nuova trasformazione e disciplinano le modalità per il suo conseguimento, anche mediante la realizzazione di vasche di laminazione.*
4. *Sono fatte salve eventuali normative già adottate dai comuni per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica.*
5. *La Regione approva normative specifiche con l'obiettivo di incentivare il perseguimento del principio della invarianza idraulica anche per i contesti edificati esistenti.*

Alla luce del citato articolo 47 risulta necessario fornire delle indicazioni operative in merito alla concreta attuazione del principio dell'invarianza idraulica al fine di indirizzare e supportare la redazione degli strumenti attuativi di pianificazione locale o altri strumenti di analoga valenza, con contenuti differenziati in relazione alla superficie totale territoriale interessata e risulta, pertanto, necessario calcolare la portata di piena ed il corrispondente volume di deflusso, per tempi di ritorno significativi considerando due diverse configurazioni: stato attuale e stato successivo alla realizzazione dell'intervento (anche definito come post-intervento).

La metodologia di seguito descritta e le diverse ipotesi fatte a riguardo deve ritenersi esaustiva e completa ai fini del calcolo e della verifica del principio dell'invarianza idraulica.

Lo scopo, ovviamente, è quello di verificare che la realizzazione degli interventi di trasformazione territoriale, come detto piani attuativi e altri strumenti di analoga valenza, permettano di **mantenere invariate le caratteristiche di risposta idraulica** del bacino oggetto dell'intervento. Le analisi dovranno tener conto di diversi fattori: in particolare i fenomeni di perdita e accumulo che intervengono nel passaggio da "pioggia totale" a "pioggia netta" che genera il deflusso superficiale (perdite iniziali, infiltrazione e ritenzione dell'acqua nel suolo, ritardo nella risposta del bacino, ecc.). Ovviamente, nella verifica post-intervento saranno da considerare, oltre la capacità di deflusso della rete di drenaggio, i fenomeni di laminazione delle portate che possono essere realizzate con opere di accumulo (sia realizzati in modo convenzionale mediante serbatoi sia con trincee drenanti, invasi superficiali e sotterranei, ecc.) che consentono la riduzione delle portate e il trasferimento dei deflussi al recettore in tempi più lunghi.

In termini generali, oltre le analisi di tipo idrologico e idraulico nel territorio oggetto dell'intervento, delle quali si esporranno più estesamente le metodologie di calcolo nel seguito, si dovranno considerare i seguenti aspetti:

- a) **L'invarianza del punto di recapito.** Oltre a mantenere invariata la portata generata dal intervento di trasformazione territoriale è infatti opportuno convogliare le acque nel

medesimo recettore presente nello stato di fatto ante intervento, al fine di non aggravare altre reti limitrofe. Le modifiche del punto di recapito dovranno essere oggetto di attenta valutazione e opportunamente giustificate.

b) L'invarianza delle quote altimetriche. Spesso la realizzazione di nuovi interventi di trasformazione territoriale è effettuata con innalzamento del piano campagna con conseguenti effetti negativi per le aree limitrofe, che ovviamente non possono essere autorizzate in assenza di opportuni studi di carattere idraulico. A tutela delle aree limitrofe è, dunque, buona norma mantenere inalterata la quota del piano campagna nel comparto oggetto di trasformazione. La modificazione delle quote altimetriche può essere consentita in funzione di una configurazione del suolo finalizzata al miglioramento delle condizioni di drenaggio e ritenzione oltre che di invarianza (come ad esempio nella realizzazione di bacini di micro-laminazione integrati al disegno dello spazio pubblico) attraverso opere per le quali dovranno essere verificate le prestazioni in termini generali e che non dovranno apportare carichi incongrui nelle zone limitrofe all'intervento.

c) L'invarianza nella capacità di dreno delle aree limitrofe. Altro importante aspetto da valutare è la capacità di deflusso delle aree limitrofe all'area di intervento. Per la realizzazione di nuovi interventi di trasformazione territoriale spesso appare necessario eliminare piccole affossature, scoline o fossi di campagna. L'eliminazione di tali sistemi, oltre a ridurre notevolmente il volume di invaso delle acque drenate sul territorio (volume che comunque va tenuto in considerazione per garantire l'invarianza della portata scaricata), può comportare l'impossibilità di scarico delle aree afferenti a tali fossi e scoline. Di norma, è dunque consigliato realizzare al confine delle aree di intervento dei fossi o delle condotte di "gronda" che mantengono idraulicamente isolato l'ambito di nuova trasformazione dal resto del territorio e al contempo consentano il deflusso delle aree limitrofe idraulicamente collegate.

Sempre in termini generali, si può affermare che devono essere attentamente valutate le **misure compensative che garantiscono l'invarianza idraulica** nell'area oggetto dell'intervento. Queste misure compensative devono garantire, laddove possibile, adeguata capacità di infiltrazione e realizzare volumi di compenso che siano adeguati per contrastare l'aumento di deflusso determinato dalla maggiore impermeabilizzazione del suolo.

Nei capitoli seguenti vengono affrontate le tematiche relative a:

- a) Definizione delle classi di intervento che consentono di diversificare, sulla base dell'entità territoriale in esame, l'approccio metodologico per il **calcolo idrologico e idraulico** che consenta la valutazione della modifica delle portate e dei volumi nell'area interessata dall'intervento di trasformazione. Vengono fornite, quindi, indicazioni sulle procedure di calcolo da utilizzare per garantire l'invarianza idraulica in termini di portata consegnata al recettore.
- b) illustrazione delle modalità di intervento per realizzare le misure compensative più opportune per garantire l'invarianza idraulica. La descrizione delle diverse tipologie di opere è approfondito nell'allegato 4 alla presente relazione.

Per quanto riguarda il primo punto, del quale si tratterà nel seguito di questa relazione, è di fondamentale importanza la ricognizione e la caratterizzazione del recettore nel quale la portata dovrà essere scaricata.

2 DEFINIZIONE DELLE CLASSI DEGLI INTERVENTI DI TRASFORMAZIONE TERRITORIALE

Una prima suddivisione della classe degli interventi di trasformazione territoriale da attribuire riguarda le superfici territoriali interessate dagli strumenti attuativi di pianificazione locale o altri strumenti di analoga valenza. Nella *Tabella 1* si riporta la classificazione:

Tabella 1. Classificazione

Classe	Livello di impermeabilizzazione potenziale	Superficie territoriale
a	trascurabile	inferiore a 0.1 ha
b	modesta	compresa tra 0.1 e 0.5 ha
c	significativa	compresa tra 0.5 e 10 ha
d	sostanziale	superiore a 10 ha

L'approfondimento tecnico che deve essere prodotto in fase progettuale a giustificazione del rispetto del principio dell'invarianza idraulica, come definita in premessa, è crescente con l'aumentare della superficie dell'intervento. La descrizione delle procedure richieste per singola classe di intervento è fornita sinteticamente come segue:

Classe a - Trascurabile impermeabilizzazione potenziale

Data l'esigua superficie interessata (<1000 mq) dalla trasformazione dell'uso del suolo, in linea di massima i benefici conseguibili in termini di compensazione dei deflussi non giustificano gli oneri connessi alla previsione di opere di compensazione. È, pertanto, sufficiente adottare buoni criteri costruttivi delle reti di dreno assicurando adeguato margine di franco nelle sezioni adottate, ridurre le superfici impermeabili, quali le superfici di viabilità privata e parcheggi, adottare opportuni criteri realizzativi, quali le pavimentazioni inerbite, tetti verdi.

Classe b - Modesta impermeabilizzazione potenziale

È opportuno sovradimensionare la rete di dreno rispetto alle sole esigenze di trasporto della portata di picco realizzando nelle condotte e nei canali volumi compensativi cui affidare funzioni di laminazione. A tal fine, in questi casi è opportuno che i tiranti idrici massimi assicurino un'adeguata maggiorazione del franco nelle luci della rete di dreno. Il calcolo della portata sia nella situazione attuale che in quella di progetto può essere effettuata considerando l'attribuzione dei coefficienti di

afflusso calcolati sulla base delle caratterizzazioni del territorio nelle due situazioni. Per maggiori dettagli applicativi si rimanda al seguente §3.2.

Classe c - Significativa impermeabilizzazione potenziale

Nel caso di interventi di superficie compresa tra 0.5 e 10 ha, andranno dimensionati i tiranti idrici ammessi nelle luci di scarico, negli invasi e nel sistema drenante in modo da garantire che la portata massima defluente dall'area in trasformazione sia non superiore ai valori precedenti l'intervento di trasformazione territoriale. Se è presente una situazione di particolare criticità nella capacità di deflusso del recettore, si possono imporre ulteriori limitazioni nelle portate scaricate prevedendo processi di laminazione che consentano di trasferire nel tempo la consegna dei deflussi.

È di fondamentale importanza la ricognizione e caratterizzazione del recapito nel quale la portata dovrà essere scaricata. È, pertanto, richiesta la verifica del recettore. È necessario che l'intervento preveda la realizzazione di **misure e opere compensative** per garantire l'invarianza idraulica. In termini generali, si stabilisce che dovranno quindi essere esaminate le varie tipologie per la realizzazione di opere compensative (vasche di laminazione, bacini di infiltrazione, pavimentazioni filtranti, tetti verdi etc.). La definizione delle opere compensative e l'inserimento paesaggistico e architettonico degli spazi e strutture utilizzati per la compensazione dei deflussi dovrà essere costituito da elaborati grafici e da una relazione tecnica descrittiva atta a dimostrare la loro rispondenza a quanto richiamato in premessa.

Per maggiori dettagli in merito alle procedure di verifica del principio dell'invarianza idraulica si rimanda al seguente §3.3.

Classe d - Sostanziale impermeabilizzazione potenziale

Nel caso di interventi di superficie superiore a 10 ha, come per la classe precedente andranno dimensionati i tiranti idrici ammessi nella rete e negli invasi e le luci di scarico del sistema drenante in modo da garantire che la portata massima defluente dall'area in trasformazione sia non superiore ai valori precedenti l'intervento di trasformazione territoriale. Se è presente una situazione di particolare criticità nella capacità di deflusso del recettore, si possono imporre ulteriori limitazioni nelle portate scaricate prevedendo processi di laminazione che consentano di trasferire nel tempo la consegna dei deflussi.

Rispetto alla classe precedente, è richiesta ulteriormente l'analisi dell'intervento in esame nel contesto più ampio del bacino idrografico di appartenenza. Dovranno essere esaminate varie tipologie per la realizzazione di opere compensative considerando le possibili interazioni con il bacino idrografico nel quale il sistema è inserito e i vincoli che da questo possono derivare. È ugualmente richiesto che la definizione delle misure compensative e l'inserimento paesaggistico e architettonico degli spazi e strutture utilizzati per la compensazione dei deflussi sia costituita da elaborati grafici e da una relazione tecnica descrittiva atta a dimostrare la loro rispondenza a quanto richiamato in premessa.

3 CRITERI PER L'APPLICAZIONE DEL PRINCIPIO DELL'INVARIANZA IDRAULICA

Di seguito si riporta la descrizione delle procedure di verifica del principio di invarianza idraulica da adottare per le diverse classi di intervento.

Si precisa che la verifica complessiva del principio di invarianza idraulica dovrà essere realizzata con riferimento al tempo di ritorno $Tr=50$ anni.

Il dimensionamento della rete di dreno interna all'intervento di trasformazione territoriale è realizzata con riferimento al tempo di ritorno $Tr=20$ anni. Quest'ultima assunzione potrà essere modificata, esclusivamente in termini di aumento del valore del tempo di ritorno in relazione alla tipologia di urbanizzazione prevista.

3.1 CLASSE DI INTERVENTO a)

Nel caso di interventi di trasformazione territoriale appartenenti alla classe a) è sufficiente adottare buoni criteri costruttivi delle reti di dreno assicurando adeguato margine al franco delle sezioni adottate, ridurre le superfici impermeabili, quali le superfici di viabilità privata e parcheggi, adottare opportuni criteri realizzativi, quali le pavimentazioni inerbite, tetti verdi.

3.2 CLASSE DI INTERVENTO b)

Nel caso di interventi di trasformazione territoriale appartenenti alla classe b), il calcolo della portata di progetto per le eventuali opere di compenso ed i corrispondenti volumi, deve essere effettuato calcolando il coefficiente di afflusso nello stato attuale (ϕ_a) e nello stato post-intervento (ϕ_p).

a) ϕ_a - stato attuale

Sulla base della caratterizzazione dell'area in esame la tipologia di terreno allo stato attuale deve essere suddivisa tra impermeabile e permeabile.

Sulla base della Tabella 2 seguente a ciascuna delle suddette tipologie verrà attribuito un valore del coefficiente di afflusso ϕ che permetterà di stimare il ϕ_a , da calcolare come media pesata.

Tabella 2. Valori del coefficiente di afflusso ϕ_a - stato attuale per le diverse tipologie di copertura

tipologia	ϕ
Permeabile	0.5
Impermeabile	0.8

b) φ_p - stato post intervento

Per il calcolo del coefficiente di afflusso post-intervento, occorre individuare le destinazioni d'uso previste dall'intervento di trasformazione territoriale a ciascuna delle quali è associato il valore del coefficiente di afflusso φ_p riportato nell'allegato 1 - Coefficienti di afflusso φ e valori del CN.

Il valore del φ_p è pari alla media pesata.

3.2.1 Stima dell'idrogramma di piena

Sulla base delle curve di possibilità pluviometrica regionalizzate per la Regione Sardegna¹, è calcolata l'altezza di precipitazione h corrispondente alla durata τ ed al tempo di ritorno T_r pari a 50 anni.

La portata di piena può essere stimata tramite il metodo razionale (indiretto) che fornisce la portata di piena tramite l'espressione:

$$Q = \frac{\varphi \cdot ARF \cdot S \cdot h}{3.6 \cdot \tau}$$

nella quale:

- φ è il coefficiente di afflusso che rappresenta l'aliquota di precipitazione che, in occasione della piena, scorre in superficie;
- ARF (Areal Reduction Factor - Coefficiente di Riduzione Areale) esprime il rapporto tra l'altezza di pioggia media su tutto il bacino e l'altezza di pioggia in un punto (centro di scroscio) al suo interno, valutati a parità di durata e di tempo di ritorno;
- S è la superficie dell'intervento (espressa in km^2)
- h è l'altezza di precipitazione, in mm, che cade in un punto del bacino in una durata di precipitazione pari a τ e con l'assegnato tempo di ritorno.

L'evento di precipitazione da considerare ai fini della verifica è dato da uno ietogramma ad intensità costante avente una durata τ di 15 minuti.

Come già detto, ai fini della verifica del principio di invarianza idraulica il tempo di ritorno per il calcolo della portata e del volume di piena deve essere pari a 50 anni.

¹Deidda R., Piga E., and G.M. Sechi (2000), Analisi regionale di frequenza delle precipitazioni intense in Sardegna, L'Acqua, 5, 29-38, ISSN: 1125-1255

È, quindi, possibile calcolare le portate di piena Q_a (portata stato attuale) e Q_p (portata post intervento) ed i corrispondenti volumi V_a e V_p utilizzando i differenti coefficienti di afflusso precedentemente stimati.

La differenza $\Delta Q = Q_p - Q_a$ indica l'incremento di portata al colmo dovuto all'intervento di trasformazione territoriale; tale valore è corrispondente alla riduzione della portata al colmo scaricata che deve essere assicurata al fine di garantire l'invarianza idraulica.

La differenza $\Delta V = V_p - V_a$ indica il volume minimo di accumulo; le opere compensative devono essere realizzate in modo tale da garantire l'accumulo di tale incremento di volume ΔV .

Nell'allegato 2 e nel foglio elettronico di calcolo, che viene reso disponibile unitamente alle presenti Linee guida, è riportato un esempio applicativo della metodologia di calcolo sopra illustrata.

3.3 CLASSE DI INTERVENTO c)

Nel caso di interventi di trasformazione territoriale ricadenti nella classe di intervento c) "significativa impermeabilizzazione potenziale" il calcolo del volume di compenso dovrà necessariamente essere più articolato e dovrà essere fatta una approfondita analisi del territorio.

In particolare, nel caso in cui l'area in oggetto sia ubicata in una zona nella quale siano già state attuate o siano in corso o programmate altre aree di trasformazione territoriale, le autorità competenti possono richiedere che lo studio venga esteso all'intero bacino idrografico in cui ricade l'area in oggetto. In questo caso il bacino di riferimento coincide con quello individuato dal Comune sulla base dello Studio di compatibilità idraulica in adeguamento del PUC al PAI ai sensi dell'art. 8, comma 2, delle NA del PAI. Qualora il Comune non si sia ancora dotato di tale studio, sarà cura del committente redigere uno studio di compatibilità idraulica con riferimento al compluvio interessato dall'intervento sulla base delle Linee Guida del PAI per la redazione degli studi ex art. 8, comma 2, delle NA del PAI.

Di seguito si riportano le indicazioni della procedura da applicare.

CN - Stato Attuale

Preliminarmente è necessaria la caratterizzazione geo-pedologica dell'area in esame mediante uno Studio specifico geo-pedologico realizzato nell'ambito della progettazione dell'intervento di trasformazione territoriale per il quale alcune informazioni di base sono deducibili da: Carta

geologica della Sardegna², Strumento urbanistico comunale, Studi di geopedologia³), È necessario individuare il tipo di suolo a cui appartiene l'intervento in oggetto con riferimento al metodo SCS-CN⁴(Tabella 3).

Tabella 3. Descrizione delle diverse classi in funzione dei gruppi di Tipo di suolo (metodo SCS-CN)

Tipo di suolo	Descrizione
<p>A</p> <p>deflusso superficiale potenziale basso</p>	<p>I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) basso, ed è alta la permeabilità. Sono caratterizzati da avere meno del 10% di argilla e oltre il 90% di sabbia e/o ghiaia e la tessitura è sabbiosa o ghiaiosa. La conducibilità idraulica (Ksat) è maggiore di 14,4 cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è maggiore di 50 cm, e la profondità della falda superficiale è superiore a 60 cm.</p> <p>Appartengono a questo gruppo anche le rocce con alta permeabilità per fratturazione e/o carsismo</p>
<p>B</p> <p>deflusso superficiale potenziale moderatamente basso</p>	<p>I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) moderatamente basso, e l'acqua attraversa il suolo senza impedimenti. Sono caratterizzati da avere tra il 10% e il 20% di argilla e tra il 50 e il 90% di sabbia e la tessitura è sabbioso-franca, franco-sabbiosa. La conducibilità idraulica (Ksat) varia tra 3,6 e 14,4 cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è maggiore di 50 cm, e la profondità della falda superficiale è superiore a 60 cm.</p> <p>Appartengono a questo gruppo anche le rocce con permeabilità, medio-alta e media, per fratturazione e/o carsismo</p>
<p>C</p> <p>Deflusso superficiale potenziale moderatamente alto</p>	<p>I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) moderatamente alto, e l'acqua attraversa il suolo con qualche limitazione. Sono caratterizzati da avere tra il 20% e il 40% di argilla e meno del 50% di sabbia e la tessitura è prevalentemente franca, franco-limosa, franco-argilloso-sabbioso, franco-argillosa, e franco-argilloso-limosa.</p> <p>La conducibilità idraulica (Ksat) varia tra 0,36 e 3,6 cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è maggiore di 50 cm, e la profondità della falda superficiale è superiore a 60 cm</p> <p>Appartengono a questo gruppo anche le rocce con bassa e medio-bassa permeabilità per fratturazione e/o carsismo</p>
<p>D</p> <p>deflusso superficiale potenziale alto</p>	<p>I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) alto, e l'acqua attraversa il suolo con forti limitazioni. Sono caratterizzati da avere oltre il 40% di argilla e meno del 50% di sabbia e la tessitura è argillosa, talvolta anche espandibili.</p> <p>La conducibilità idraulica (Ksat) è $\leq 0,36$ cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è compresa tra 50 cm e 100 cm, e la profondità della falda superficiale è entro i 60 cm</p> <p>Appartengono a questo gruppo anche le rocce con permeabilità molto bassa, le rocce impermeabili e le aree non rilevate o non classificate.</p>

Nella Tabella 4 viene riportata una sintesi dei parametri caratteristici dei diversi tipi di suolo

²AA.VV. 2008 - Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000. R.A.S., Progemisa

³ -Aru A. et al. 1986 - I suoli delle aree irrigabili della Sardegna, scala 1:100.000. R.A.S. -Piano Generale delle Acque;
 - Aru A., Baldaccini P. et al. 1992 - Carta dei suoli della Sardegna, scala 1:250.000. R.A.S., Ass.to Program. Bilancio e Assetto del Territorio, Univ. Cagliari, Cagliari Dip. Scienze della Terra;
 - AA.VV. 2014 - Carta delle unità di terre e della capacità d'uso dei suoli della Sardegna, scala 1:50.000. R.A.S. Ass.to EE.LL.

⁴ SOIL CONSERVATION SERVICE, (1972) National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., U.S.A.

Tabella 4. Matrice sintetica delle diverse classi in funzione dei tipi di suolo (metodo SCS-CN);

S = sabbiosa; SF = sabbiosa-franca; FS = franco-sabbiosa; F = franca; FL = franco-limoso; FAS = franco-argillosa-sabbiosa; FA = franco-argillosa; FAL = franco-argillosa-limoso; L = limoso; A = argillosa; AS = argillosa-sabbiosa; AL = argillosa-limoso; NR = non rilevato; NC = non classificato

Gruppo idrologico di suolo	Classe tessiturale	Profondità dello strato impermeabile all'acqua (cm)	Profondità della superficie piezometrica (cm)	K_{sat} dello strato meno permeabile (cm/h)	Grado di permeabilità
A	S	> 50	> 60	> 14,4	Alto
B	SF - FS	> 50	> 60	3,5 – 14,4	Medio-alto Media
C	F - FL – FAS FA – FAL - L	> 50	> 60	0,36 – 3,6	Medio-basso Basso
D	A – AS - AL	$\geq 50 \leq 100$	< 60	< 0,36	Molto basso
D	qualsiasi	< 50	< 60	< 0,0036	Impermeabile
D	NR /NC				

Il passo successivo consiste nell'individuare le diverse classi di uso del suolo ante intervento sulla base della classificazione Corine Land Cover RAS - 2008 e tramite studi specificatamente condotti sull'area in esame.

Secondo la classificazione dell'uso del suolo Corine Land Cover RAS – 2008 che costituisce un preliminare riferimento, devono quindi essere condotte integrazioni ed ulteriori attribuzioni effettuate sulla base di rilievi e di analisi specialistica per la definizione dell'uso attuale del suolo, da effettuare in situ e da documentare in modo adeguato.

Utilizzando una procedura di media pesata, dalla combinazione della classe di tipo di suolo e dell'uso del suolo, tramite la Tabella 5 di seguito riportata è possibile stimare il valore del **CN-II_a** medio dell'intera area in esame nello stato attuale.

Per la descrizione dettagliata di ciascun codice dell'Uso Del Suolo (UDS) si rimanda alle “LINEE GUIDA PER L’ADEGUAMENTO DEI PIANI URBANISTICI COMUNALI AL PPR E AL PAI- prima fase – il riordino delle conoscenze - Assetto ambientale - aggiornamento luglio 2008” disponibile all'indirizzo:

(<http://www.sardegнатerritorio.it/j/v/1123?s=6&v=9&c=3687&na=1&n=10>).

Il valore del CN-II_a (AMC II) deve essere opportunamente convertito in CN-III_a (AMC III), secondo le procedure indicate dall'SCS. In caso di situazioni valutate particolarmente critiche dal Comune in termini di scarsa o nulla capacità del recettore finale di cui al punto 3.3.1 seguente,

possono essere necessarie condizioni di cautela nella stima della massima portata attuale compatibile con lo scarico del recettore, mediante ulteriori limitazioni nelle portate scaricate prevedendo processi di laminazione che consentano di trasferire nel tempo la consegna dei deflussi.

Tabella 5. Valore del Curve Number in funzione dell'uso del suolo (Corine) e del tipo di suolo (Elaborazione ADIS)

Codice Uso del Suolo (UDS)	UDS	A	B	C	D
AREE PORTUALI	123	98	98	98	98
AREE AEROPORTUALI ED ELIPORTI	124	92	93	94	95
AREE ESTRATTIVE	131	89	92	94	95
DISCARICHE E DEPOSITI DI ROTTAMI	132	90	92	94	95
CANTIERI	133	90	92	94	95
AREE VERDI URBANE	141	65	74	81	84
CIMITERI	143	57	77	85	89
VIGNETI	221	72	81	88	91
FRUTTETI E FRUTTI MINORI	222	67	78	85	89
OLIVETI	223	72	81	88	91
ARBORICOLTURA CON ESSENZE FORESTALI	224	67	78	85	89
PRATI STABILI	231	67	71	81	89
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE A COLTURE PERMANENTI	241	59	74	82	86
SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	242	63	73	82	88
AREE PREVALENTEMENTE OCCUPATE DA COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	243	62	71	78	81
AREE AGROFORESTALI	244	45	66	77	83
BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGIE	313	39	51	63	70
AREE A PASCOLO NATURALE	321	67	71	81	89
SPIAGGE DUNE E SABBIE	331	56	73	82	86
PARETI ROCCIOSE E FALESIE	332	98	98	98	98
AREE CON VEGETAZIONE RADA	333	70	75	84	90
PALUDI INTERNE	411	100	100	100	100
PALUDI SALMASTRE	421	100	100	100	100
SALINE	422	100	100	100	100
ZONE INTERTIDALI	423	98	98	98	98
LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI	521	100	100	100	100
MARI	523	100	100	100	100
TESSUTO RESIDENZIALE COMPATTO E DENSO	1111	89	92	94	96
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	1112	78	80	85	87
TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME A CARATTERE RESIDENZIALE E SUBURBANO	1121	74	75	78	80
TESSUTO AGRO-RESIDENZIALE SPARSO E FABBRICATI RURALI A CARATTERE TIPICAMENTE AGRICOLO O RURALE	1122	65	67	70	72
INSEDIAMENTI INDUSTRIALI/ARTIG. E COMM. E SPAZI ANNESSI	1211	89	92	94	95
INSEDIAMENTO DI GRANDI IMPIANTI DI SERVIZI	1212	89	92	94	95
RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI (SVINCOLI, STAZIONI DI SERVIZIO, AREE DI PARCHEGGIO ECC.)	1221	98	98	98	98
RETI FERROVIARIE COMPRESSE LE SUPERFICI ANNESSE (STAZIONI, SMISTAMENTI, DEPOSITI ECC.)	1222	96	96	96	96
GRANDI IMPIANTI DI CONCENTRAMENTO E SMISTAMENTO MERCI (INTERPORTI E	1223	92	93	94	95

Codice Uso del Suolo (UDS)	UDS	A	B	C	D
SIMILI)					
IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE (TELECOMUNICAZIONI/ENERGIA/IDRICHE)	1224	92	93	94	95
DISCARICHE	1321	90	92	94	95
DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO, CIMITERI DI AUTOVEICOLI	1322	90	92	94	95
AREE RICREATIVE E SPORTIVE	1421	70	78	83	88
AREE ARCHEOLOGICHE	1422	49	69	79	84
SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	2111	58	72	81	85
PRATI ARTIFICIALI. COLTURE FORAGGERE OVE SI PUÒ RICONOSCERE UNA SORTA DI AVVICENDAMENTO CON I SEMINATIVI E UNA CERTA PRODUTTIVITÀ, SONO SEMPRE POTENZIALMENTE RICONVERTITI A SEMINATIVO, POSSONO ESSERE RICONOSCIBILI MURETTI O MANUFATTI	2112	67	71	81	89
SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE ORTICOLE A PIENO CAMPO	2121	66	77	85	89
RISAIE	2122	98	98	98	98
VIVAI	2123	66	77	85	89
COLTURA IN SERRA	2124	98	98	98	98
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO	2411	59	74	82	86
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL VIGNETO	2412	59	74	82	86
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTRE COLTURE PERMANENTI (PASCOLI E SEMINATIVI ARBORATI CON COPERTURA DELLA SUGHERA DAL 5 AL 25%)	2413	59	74	82	86
BOSCO DI LATIFOGLIE	3111	39	51	63	70
ARBORICOLTURA CON ESSENZE FORESTALI (LATIFOGLIE)	3112	39	51	63	70
BOSCHI DI CONIFERE	3121	39	51	63	70
CONIFERE A RAPIDO ACCRESCIMENTO	3122	39	51	63	70
FORMAZIONI VEGETALI BASSE E CHIUSE, STABILI, COMPOSTE PRINCIPALMENTE DI CESPUGLI, ARBUSTI E PIANTE ERBACEE (ERICHE, ROVI, GINESTRE, GINEPRI NANI ECC.)	3221	51	58	73	80
FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE	3222	51	58	73	80
MACCHIA MEDITERRANEA	3231	51	58	73	80
GARIGA	3232	51	58	73	80
AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE	3241	45	55	68	75
AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE	3242	45	55	68	75
SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3311	56	73	82	86
AREE DUNALI NON COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3312	56	73	82	86
AREE DUNALI CON COPERTURA VEGETALE CON AMPIEZZA SUPERIORE A 25 M	3313	56	73	82	86
LETTI ASCIUTTI DI TORRENTI DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3315	56	73	82	86
FIUMI, TORRENTI E FOSSI	5111	100	100	100	100

Codice Uso del Suolo (UDS)	UDS	A	B	C	D
CANALI E IDROVIE	5112	100	100	100	100
BACINI NATURALI	5121	100	100	100	100
BACINI ARTIFICIALI	5122	100	100	100	100
LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI A PRODUZIONE ITTICA NATURALE	5211	100	100	100	100
ACQUACOLTURE IN LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI	5212	100	100	100	100
ESTUARI E DELTA	5213	100	100	100	100
AREE MARINE A PROD. ITTICA NATURALE	5231	100	100	100	100
ACQUACOLTURE IN MARE LIBERO	5232	100	100	100	100
PIOPPETI, SALICETI, EUCALITTETI ECC. ANCHE IN FORMAZIONI MISTE	31121	39	51	63	70
SUGHERETE	31122	39	51	63	70
CASTAGNETI DA FRUTTO	31123	39	51	63	70
ALTRO	31124	39	51	63	70

CN - Stato Post Intervento

Per il calcolo del CN – Post Intervento, sulla base dell’analisi delle trasformazioni previste devono essere individuate le diverse tipologie di copertura, ciascuna delle quali può essere realizzata utilizzando diverse categorie di superficie.

Per maggiori dettagli sulle misure compensative disponibili si rimanda agli Allegati 1 e 4.

Calcolando, come in precedenza, una media pesata dei valori corrispondenti alle diverse superfici e tipi di copertura, è stimato il valore del **CN-II_p** medio dell’area totale nello stato di Post intervento. Il valore del CN-II_p (AMC II) deve essere opportunamente convertito in CN-III_p (AMC III) per il calcolo della precipitazione netta.

3.3.1 Stima dell'idrogramma di piena

Sulla base delle Curve di possibilità pluviometrica regionalizzate per la Regione Sardegna, è possibile calcolare l'altezza di precipitazione h corrispondente alla durata τ ed al Tempo di ritorno (Tr) considerato.

Nel caso di comparti appartenenti alla classe di intervento **c)** devono essere considerati due differenti tempi di ritorno di 20 e 50 anni che verranno utilizzati rispettivamente per il dimensionamento della rete di drenaggio interno alla lottizzazione e per il dimensionamento della vasca o sistema di accumulo dei deflussi e la laminazione della portata massima scaricata nel recettore finale.

Per la stima della portata e dell'idrogramma di piena deve essere considerato uno ietogramma Chicago avente una durata di 30 minuti con posizione del picco $r = 0.4^5$.

Utilizzando il valore del CN calcolato nello stato attuale **CN-III_a** e nello stato post intervento **CN-III_p**, è possibile definire lo ietogramma di pioggia lorda e, utilizzando un modello di trasformazione afflussi-deflussi, l'andamento dei corrispondenti idrogrammi di piena.

E' quindi possibile conoscere il valore ai diversi istanti delle portate e dei corrispondenti volumi di deflusso.

A titolo di esempio si riportano nell'allegato 3 i risultati ottenuti con il software Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) della U.S. Army Corps of Engineers.

Una volta valutate le portate ed i volumi di progetto è necessario verificare che il recettore finale sia in grado di smaltire questi nuovi contributi generati dalla nuova area in trasformazione.

In particolare è compito del Comune individuare lo stato del recettore, classificandolo sulla base di 3 differenti categorie: Alta, Media e Bassa per la capacità di smaltimento delle portate.

A seconda della categoria di appartenenza possono essere applicati dei coefficienti correttivi alla portata massima defluente dall'intera area in trasformazione nella situazione attuale (valori Q_a CN-III_a; Tr 50) sulla base della Tabella 6.

Tabella 6. Valori del Parametro correttivo k per la definizione della portata max scaricabile nel recettore

Capacità di smaltimento del recettore	Parametro correttivo k
Alta	1
Media	0.8
Bassa	0.5

⁵Becciu, Paoletti Fondamenti di Costruzioni idrauliche UTET – Milano 2010

$$Q_{a\ corr} = Q_a k$$

Nell'allegato 3 e nel foglio elettronico di calcolo, che viene reso disponibile unitamente alle presenti Linee guida, è riportato un esempio applicativo della metodologia di calcolo sopra illustrata.

3.4 CLASSE DI INTERVENTO d)

Per classi di intervento d) definite a “Sostanziale impermeabilizzazione potenziale” superficie territoriale superiore ai 10 ha, è necessario uno studio idrologico esteso all'intero bacino idrografico in cui ricade l'area in oggetto. In questo caso il bacino di riferimento coincide con quello individuato dal Comune sulla base dello Studio di compatibilità idraulica di adeguamento del PUC al PAI ai sensi dell'art. 8, comma 2, delle NA del PAI. Qualora il Comune non si sia ancora dotato di tale studio, sarà cura del committente redigere uno studio di compatibilità idraulica con riferimento al compluvio interessato dall'intervento sulla base delle Linee Guida del PAI per la redazione degli studi ex art. 8, comma2, delle NA del PAI.

Per la classe di intervento **d)** è necessario estendere la metodologia precedentemente descritta per la classe di intervento di tipo **c)**, con l'accorgimento che per tali comparti in trasformazione l'approccio di aggregazione e di stima unitaria del CN dovrà essere opportunamente modificata prendendo eventualmente in esame un approccio di modellazione di tipo distribuito.

4 Cenni sulle modalità realizzative delle principali misure compensative

Nella redazione dei progetti di trasformazione urbanistica devono essere integrate la componente quantitativa (il calcolo) e quella qualitativa (l'aspetto estetico/figurativo), promuovendo un uso selettivo di dispositivi adeguati alla produzione di servizi per la collettività (parchi, giardini, zone per il gioco e il tempo libero, spazi pubblici, ecc.) e soluzioni che possano incrementare il valore ecologico e promuovere la biodiversità.

Nell'allegato 4 sono evidenziate **15 schede tecniche** con un livello di "artificialità" decrescente, dalla costruzione di *manufatti* (da T1 a T6: cisterne di raccolta, tetti verdi, invasi sotterranei, pozzi perdenti, superfici permeabili, superfici porose) ad operazioni di *modellazione del terreno* (da T7 a T15: filtri sabbiosi, trincee di infiltrazione, canali inerbiti, strisce vegetate, fasce tampone, bacini di infiltrazione, bacini di microlaminazione, zone di fitodepurazione, zone umide). Per ciascuna delle 15 tecniche individuate sono state predisposte specifiche schede di approfondimento (si veda l'allegato 4).

Per agevolare la scelta delle tecniche più appropriate è stata predisposta una matrice, riportata nell'allegato 4, che permette di associare a ciascuna di esse i principali parametri localizzativi, dimensionali, funzionali, qualitativi, etc. che possono guidare le valutazioni progettuali. Attraverso i parametri indicati nelle otto colonne della matrice, infatti, è possibile operare una scelta sulla base di:

- a. **La classe di intervento** (a,b,c,d) in cui si deve operare, in riferimento alle definizioni riportate nella *Tabella 1* "Classificazione di intervento" al capitolo 2 della presente relazione;
- b. **I processi di gestione idraulica** selezionati in coerenza con risultati della valutazione computazionale e secondo i dispositivi descritti nelle schede tecniche, utilizzabili anche contemporaneamente di seguito sinteticamente descritti:
 - *Infiltrazione nel suolo* – attraverso soluzioni che facilitano l'infiltrazione di acqua nel terreno che possono includere anche zone di stoccaggio temporaneo, in quanto, il deflusso dovrebbe essere gestito alla fonte (cioè vicino a dove si verifica l'evento meteorologico), con i soli deflussi residuali convogliati a valle verso ulteriori componenti di accumulo o trattamento (se e dove richiesto). Ove possibile quindi deve essere conservata la maggior superficie permeabile anche attraverso superfici che permettono all'acqua di penetrare nel suolo, riducendo così la percentuale di

deflusso che viene convogliata al sistema di drenaggio, ad esempio i tetti verdi e le pavimentazioni permeabili.

- *Detenzione/attenuazione*– attraverso soluzioni che controllano i flussi e i volumi di deflusso, immagazzinando l’acqua temporaneamente e rilasciandola lentamente. Questi sistemi possono anche fornire il trattamento fitodepurativo del deflusso, come nel caso di stagni, zone umide e bacini di espansione/microlaminazione.
- *Trasporto superficiale* - attraverso soluzioni che veicolano i volumi d’acqua ai recapiti a valle attraverso un ‘ruscellamento controllato’. Ove possibile, questi sistemi garantiscono oltre al deflusso e al controllo dei reflui anche il loro trattamento (come nel caso delle depressioni inerbite). Il passaggio dell'acqua tra i singoli componenti del sistema di gestione deve quindi prevedere, ove possibile, l'utilizzo di sistemi di trasporto fuori terra, considerando necessariamente gli aspetti igienici, di sicurezza e manutenzione.
- *Raccolta dell'acqua piovana per il riutilizzo* – attraverso componenti che trattengono l’acqua piovana per facilitarne il riutilizzo *in situ*, all'interno di edifici o spazi aperti.

c. le principali **destinazioni d'uso** (residenziali, servizi, strade e parcheggi, commerciale, industriale, ecc.) in cui si inserisce l'intervento, in riferimento sia alla costruzione del nuovo sia agli interventi di riqualificazione urbana;

d. lo **spazio disponibile**, mediamente richiesto dalla tecnica impiegata rispetto alle dimensioni dell'intervento (basso, alto);

e. il **tipo di suolo** (A, B - Permeabile | C, D - Impermeabile) così come classificato nella *Tabella 4* “Descrizione delle diverse classi in funzione dei gruppi di Tipo di suolo (metodo SCS-CN)” al capitolo 3 della presente relazione;

f. il **rischio idraulico**, ossia la finalità dell'intervento che si intende perseguire, distinguendo in prima approssimazione tra operazioni di riduzione dei picchi di deflusso e di riduzione del volume (possono essere considerati entrambi contemporaneamente);

g. la **qualità** del progetto, valutata in termini figurativi, cioè per le potenzialità della tecnica di realizzare un contesto urbano o paesaggistico innovativo, ed ecologici, considerando la

compatibilità del progetto con la tutela del paesaggio (aree già individuate istituzionalmente e con forme di tutela vigenti), la *biodiversità* e gli *aspetti strutturali* dell'ambiente naturale (superficie, la rarità e la forma dei biotopi).

h. I **costi** indicativi per la realizzazione e la manutenzione con cui garantire nel tempo il funzionamento dell'opera (basso, medio, elevato, molto elevato).

Le specifiche **schede tecniche** riportate nell'allegato 4 raccolgono le informazioni catalogate nella matrice. Ogni scheda indica, inoltre, la predisposizione della tecnica a rispondere a *precipitazioni più o meno intense* e suggerisce il *tempo massimo di svuotamento*, ossia il periodo massimo di permanenza dell'acqua nelle aree di accumulo, al fine di prevenire lo sviluppo di condizioni di insalubrità e garantire la ricezione di un ulteriore volume idrico.

Le immagini riportate nelle schede sono rappresentative del potenziale figurativo ed ecologico dei dispositivi analizzati e, qualora necessario, uno schema ne esemplifica la corretta realizzazione.

Le indicazioni presentate in questa sezione dello studio non hanno carattere prescrittivo ma devono intendersi come primo orientamento progettuale dovranno essere approfondite attraverso studi specifici a cura del progettista incaricato.