



COMUNE DI NOCI

PROVINCIA DI BARI

P.O. FESR PUGLIA 2007-2013 Asse II - Linea di Intervento
2.3 - Azione 2.3.2 . Rafforzamento delle Strutture Comunali
di Protezione Civile. Studio per l'individuazione di Aree
Soggette a Pericolosità Idraulica, Geologica,
Geomorfologica e Idrogeologica nel Territorio di Noci



Geologo:



Geol. Fedele Massimiliano COLUCCI

S.O. Via De Giosa, 4 70015 NOCI

Tel/Fax (+39)080/2473484 - Cell. 338/4274387 - P. IVA 07627640720

E-mail: massimo.colucci76@gmail.com - P.E.C.: geol.massimocolucci@pec.it

ELABORATO E. 1

DATA

RELAZIONE IDROGEOLOGICA E IDRAULICA

10/2014

AGGIORNAMENTO

DATA

DESCRIZIONE

AGGIORNAMENTO	DATA	DESCRIZIONE

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	QUADRO CONOSCITIVO	5
2.1	Inquadramento Geologico Generale.....	5
2.3	Geomorfologia.....	8
2.4	Ricostruzione Storico-Temporale degli Eventi Meteorologici Rilevanti	9
3	ANALISI DEI VINCOLI DI CARATTERE REGIONALE	12
3.1	Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (P.A.I.).....	12
3.2	Pianificazione Paesaggistica	19
4	IL RISCHIO IDROGEOLOGICO.....	27
4.1	Definizione del Rischio.....	27
4.2	Obiettivi.....	31
5	ANALISI IDROLOGICA	33
5.1	Ricostruzione L.S.P.P. con Metodo VA.PI. (VALutazione Plene)	33
5.2	Teoria del Modello Idrologico Utilizzato.....	37
5.3	Definizione degli Afflussi Meteorici.....	39
5.4	Determinazione dello Ietogramma di Progetto.....	39
5.5	Il Metodo SCS-CN	40
5.6	Idrogramma Unitario del Soil Conservation Service (IUH-SCS).....	44
5.7	Propagazione Onda di Piena: Metodo di Muskingum-Cunge	45
5.8	Modellazione Idrologica	46
6	ANALISI IDRAULICA	50
6.1	Modello Idraulico Utilizzato.....	50
6.2	Moto Permanente	50
6.3	Moto Vario	56
7	PROGETTO “RAINFALL”	59



Sommario

7.1	Obiettivi.....	60
7.2	Contesto Climatico, Geologico, Idrogeologico e Morfologico.....	61
7.3	Modello Proposto	62
7.4	Fasi di Lavoro.....	66

1 PREMESSA

Il presente studio idrologico-idraulico è stato redatto a seguito dell'incarico conferitomi dal Comune di Noci, Settore Gestione e Assetto del Territorio, in relazione al Programma Operativo F.E.S.R. Puglia 2007-2013 Asse II – Linea di Intervento 2.3 -Azione 2.3.2-Rafforzamento delle Strutture Comunali di Protezione Civile e intende caratterizzare gli aspetti connessi alla probabilità di allagamento per fenomeni di esondazione dei corsi d'acqua compresi nel reticolo idrografico d'interesse della difesa del suolo in relazione a quanto riportato nella carta Idrogeomorfologica redatta dalla Regione Puglia e Autorità di Bacino.

L'attuazione di questo particolare tipo di studio, si è reso necessario a seguito di numerose segnalazioni susseguitesesi negli anni che hanno indotto l'Amministrazione ad individuare le aree soggette a particolari rischi di carattere idraulico soprattutto in concomitanza con eventi meteorici di particolare intensità.

L'intero territorio del Comune di Noci, infatti, si sviluppa in un'area murgiana collinare caratterizzata da una rapida alternanza di lame e doline. Come dimostrato dalla documentazione reperibile presso l'Ufficio Tecnico Comunale – Settore Gestione e Assetto del Territorio. Negli anni scorsi sono state molteplici le richieste di intervento in concomitanza di eventi piovosi calamitosi.

1. Premessa

Il presente studio idrologico-idraulico è volto a supportare gli Strumenti di Pianificazione Comunale e si articola nelle seguenti fasi:

- *Fase 1:* Reperimento della documentazione bibliografica reperibile presso gli Uffici Comunali, incluse le segnalazioni effettuate da privati cittadini circa gli eventi succedutisi negli anni e la documentazione fotografica dei danni subiti in concomitanza di eventi piovosi di particolare intensità; reperimento dei verbali di sopralluogo effettuati da tecnici dell'Autorità di Bacino, Prefettura e Regione Puglia.
- *Fase 2:* individuazione dei bacini idrografici di riferimento entro cui ricadono le aree soggette a maggiore pericolosità idraulica; georeferenziazione degli stessi, individuazione delle criticità e pianificazione dei rilievi da effettuarsi;
- *Fase 3:* rilievo di particolari sezioni idrauliche, campionamento di sedimenti trasportati dal flusso acquoso, verifica sul campo di eventuali criticità individuate e/o segnalate nel corso degli anni scorsi;
- *Fase 4:* analisi di laboratorio sui campioni prelevati ed elaborazione dei dati;
- *Fase 5:* sviluppo ed elaborazione del modello idrologico ed idraulico ed applicazione del modello "Rainfall" ai casi specifici di studio;
- *Fase 6:* sintesi dei risultati ottenuti ed elaborazione della cartografia specifica.

2 QUADRO CONOSCITIVO

2.1 Inquadramento Geologico Generale

Lo studio interessato dal progetto riguarda l'intera area di pertinenza del Comune di Noci (BA) la quale ricade nel quadrante Sud-Occidentale del Foglio N°. 190 – “Monopoli” (**Figura 1**) della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, di cui viene riportato uno stralcio in **Tavola A. 2** “Carta Geolitologica e Geomorfologica”.

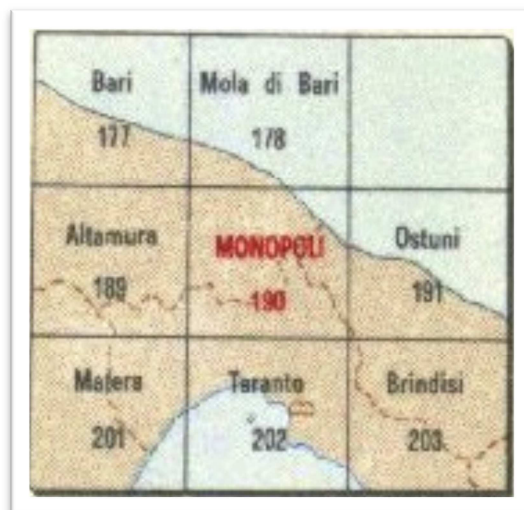


Figura 1 - Foglio N° 190 “Monopoli” della Carta Geologica d'Italia.

2. Quadro Conoscitivo

Da un punto di vista geolitologico e strutturale, il territorio di Noci si estende sulla parte della Piattaforma Apula individuata come "Alta Murgia" ed è costituito in larga parte, da calcari mesozoici in strati e banchi suddivisi in banchi e/o strati più o meno fratturati. In letteratura, queste formazioni prendono il nome di "Calcari delle Murge", e comprendono il Calcare di Bari e il Calcare di Altamura. Quest'ultimo rappresenta la quasi totalità delle litologie osservabili nel territorio comunale.

I calcari hanno origine marina e sono coperti, in parte o in toto, da locali formazioni, spesso esigue, di terreni Olocenici costituiti da materiale alluvionale che spesso si deposita all'interno di solchi erosivi, doline o grosse depressioni carsiche, di origine continentale. I rapporti stratigrafici tra i suddetti terreni sono di natura sedimentaria trasgressiva e vedono i depositi continentali in successione stratigrafica su quelli marini.

Le formazioni calcaree mostrano uno stile tettonico essenzialmente tabulare, caratterizzato da pieghe blande e da faglie a debole rigetto che possono essere assimilate a fratture riscontrabili soprattutto nella parte nord del territorio del Comune di Noci. Nella zona più a sud, al confine con il territorio di Mottola, si osserva, in genere, un assetto plicativo più marcato, a tratti fagliato e/o fratturato.

In generale, il numero delle misure di strato con direzione WNW-ESE e NW-SE è statisticamente superiore e ne deriva, pertanto, che le pieghe hanno un andamento molto vicino alla direttrice appenninica. In generale tutta quanta la superficie tabulare della Piattaforma Apula mostra una immersione a SW che la può far ritenere una estesa monoclinale.

Il paesaggio attuale ha subito, nel tempo, alcune modifiche dovute soprattutto a piegamenti e a fratture (faglie) del suolo per distensione e compressione delle rocce, con conseguente formazione di depressioni, scarpate, gradoni e rilievi; alle trasformazioni della morfologia hanno contribuito anche le erosioni torrentizie (lame) legate a fattori di natura meteorologica.

Tutta la zona è a larghe e dolci ondulazioni, senza un sistema fluviale definito e persistente. Il calcare cretaceo delle Murge si presenta intaccato da innumerevoli fratture, che, per quanto sottili, conferiscono una maggiore permeabilità secondaria ai primi strati rocciosi. I depositi alluvionali e colluviali si ritrovano, solitamente, all'interno di

2. Quadro Conoscitivo

depressioni naturali. In concomitanza degli eventi critici, lo strato impermeabile e immediatamente imbibibile non lascia penetrare l'acqua in profondità favorendo, di fatto, il deflusso superficiale.

In occasione di eventi meteorici particolarmente intensi, infatti, i danni generabili sul territorio, in termini sia economici (perdita di raccolti, ecc.) sia sociali (perdita di vite umane, danni alle infrastrutture a rete e non, ecc.) possono essere molto gravi.

Questi solchi erosivi in genere a fondo piatto, rappresentano i resti di un'antica idrografia superficiale oggi quasi obliterata che si attiva solo "episodicamente". Queste sono le cosiddette "lame" (dal toponimo locale utilizzato per indicare un antico corso d'acqua).

In particolare si descrivono con maggiore dettaglio le unità stratigrafiche sopra descritte e procedendo nella descrizione dal basso verso l'alto ed in ordine cronologico, si osservano:

- Calcarea di Altamura (**C¹⁰⁻⁸**)
- Depositi colluviali ed eluviali (**d_c**)

2.2 **Formazioni Litologiche Affioranti**

Calcarea di Altamura (C¹⁰⁻⁸): rappresenta il termine di base di tutto il territorio comunale con giacitura piano parallela e/o debolmente inclinata.

L'ammasso roccioso è costituito in prevalenza da calcari detritici e/o microcristallini, di colore biancastro, avana chiaro e nocciola, a grana generalmente fine, compatti e quasi privi di porosità, a frattura concoide con strati spessori variabili, da pochi centimetri ad alcuni metri, nettamente distinguibili l'uno dall'altro.

Tale formazione calcarea si è formata in leggera discordanza angolare sul sottostante calcarea di Bari (**C⁷⁻⁶**) ed è caratterizzata da una abbondanza di lppuriti e Radioliti e dalla presenza di calcari incrostanti rossastri e terrosi.

Lo spessore affiorante dei Calcari di Altamura, in loco, è di qualche centinaio di metri e la sua età è ascrivibile, sulla base di determinazioni micropaleontologiche, al Senoniano.

2. Quadro Conoscitivo

Depositi colluviali ed eluviali (d.c.): Tali depositi sono costituiti in genere da “terre rosse” residuali di calcari e vengono rinvenute un po' ovunque nel fondo delle doline e delle grosse depressioni carsiche venendo utilizzate anche per colture agricole; sono formazioni continentali recenti con età ascrivibile all'Olocene.

2.3 Geomorfologia

Da un punto di vista geografico il territorio comunale di Noci si colloca nella parte meridionale della Provincia di Bari e si estende per una superficie di circa 148,99 km² con un'altitudine compresa tra 303 e 475 mt s.l.m.. Da un punto di vista amministrativo confina a nord con il Comune di Putignano (BA), a est con quello di Alberobello (Ba), a sud con Martina Franca (TA), a ovest con Gioia del Colle (BA).

Per quanto attiene la geomorfologia, il territorio risulta suddiviso principalmente in tre aree altimetricamente distinte:

- Aree con quote comprese tra 410 mt e 440 mt circa, quote si cui si attesta il centro abitato e la zona industriale del Comune di Noci, queste aree rappresentano la maggior parte del territorio (**Tavola A.3** “Carta Altimetrica”);
- Aree con quote comprese tra 370 mt e 410 mt circa (**Tavola A.3** “Carta Altimetrica”);
- Aree con quote comprese tra 340 mt e 370 mt circa (**Tavola A.3** “Carta Altimetrica”).

Per un inquadramento completo del territorio comunale, e più in generale della regione Murgiana della Puglia, è necessario rappresentare e dare evidenza a quelle strutture peculiari di detto territorio, che ne caratterizzano in maniera fondamentale la geomorfologia.

Le “lame”, le gravine e i bacini endoreici costituiscono parte significativa del reticolo idrografico del territorio comunale e della maggior parte della regione pugliese.

Il paesaggio tipico nocese, è privo di rilievi significativi ed è caratterizzato da rocce calcaree, spesso affioranti, a differente permeabilità in funzione del suo stato alterativo e tensionale. Conseguenza di ciò, è causa della formazione di un reticolo

2. Quadro Conoscitivo

idrografico non sempre chiaramente definito e spesso caratterizzato dall'assenza di deflussi superficiali per lunghi periodi dell'anno.

Questo reticolo idrografico superficiale, si riattiva repentinamente in concomitanza di eventi piovosi significativi, come riportato in **Tavola A. 4** "Reticolo idrografico".

Come si può osservare, il pattern idrografico delle aste fluviali presenti sul territorio nocese si dispone lungo due direttrici principali:

- La prima direttrice ha direzione Sud-Est Nord-Ovest con direzione verso l'Adriatico (attraversando il comune di Putignano);
- La seconda direttrice ha direzione Nord-Est Sud Ovest con direzione verso il Mar Ionio (attraversando il territorio comunale di Martina Franca e Mottola).

Le aree per le quali è stato redatto lo studio idrologico-idraulico sono state individuate non in base ai confini comunali bensì in base alle aree effettivamente drenanti coinvolgendo, di conseguenza, porzioni territoriali di comuni adiacenti così come osservabile in **Tavola A. 6** "Bacini Idrografici Oggetto di Studio".

2.4 Ricostruzione Storico-Temporale degli Eventi Meteorologici Rilevanti

Nel corso degli anni, il territorio del il Comune di Noci è stato interessato da problematiche legate al deflusso delle acque meteoriche che, in occasione di eventi di particolare intensità, hanno arrecato danni e situazioni di diffuso dissesto.

In via preliminare, si è deciso di reperire presso l'Ufficio Tecnico Comunale - Settore Gestione e Assetto del Territorio, la documentazione relativa alle segnalazioni pervenute all'Ufficio realizzando una ricostruzione storica degli eventi atmosferici e meteorologici avversi che, nell'ultimo decennio all'incirca, hanno determinato fenomeni di allagamento e danneggiamento alle strutture ed infrastrutture nell'ambito del territorio comunale.

- Il primo episodio critico citato è in relazione agli eventi pluviometrici del Settembre 2003. Gli annali riportano valori di precipitazioni pari a 110 mm in una sola giornata (08/09/2003) e le zone più colpite furono quelle della parte meridionale del

2. Quadro Conoscitivo

territorio quasi al confine con il territorio della provincia di Taranto, dove poi si sono manifestate le noti e nefaste circostanze relative ai nubifragi che colpiscono i centri di Castellaneta, Ginosa e Palagiano. In relazione ai suddetti eventi si vennero a verificare situazioni di dissesto e di potenziale pericolo nelle zone rurali in agro comunale quale Contrada "Lamadacqua" dove si verificarono cedimenti di ponti sulla strada che dalla provinciale per Castellaneta porta alla masseria "Bonelli", creazioni di voragini con messa a nudo del tubo dell'acquedotto rurale sulla strada parallela alla predetta via "Bonelli", isolamento della masseria del Sig. A. Mottola in Zona D, dissesto generale di tutte le strade comunali non asfaltate in Zona "Lamadacqua" nonché numerosi crolli di muri a secco dovuti al passaggio dell'inusuale onda di piena (verbale AdB, 2007).

- L'evento del Settembre 2006 segnò il culmine di un mese particolarmente piovoso, per il quale si registrarono precipitazioni di ben 330 mm (16/09/2006), vale a dire un valore pari a più di un terzo di tutte le precipitazioni medie annuali. Si ebbero ripercussioni sia in ambito urbano che extraurbano. Difatti si ebbero cedimenti di muretti a secco sulla via A. Gabrieli, invasione della sede ferroviaria (Ferrovie Sud-Est) con interruzione del transito, danneggiamento e allagamento di scantinati generalizzati sul tutto il territorio comunale dalla Via B. Croce alla via Zona H e alla Via Vecchio, rottura del canale di fogna bianca sulla Pola con danneggiamento del basolato e infiltrazioni d'acqua, fenomeni di allagamento della via Vecchia per Putignano (ex S.S.). In ambito extraurbano si verificarono dissesti generali di tutte le strade comunali in contrada "Lamadacqua", cedimenti di ponti su strade comunali, sversamento di materiale terroso su strade rurali, dissesto dei muri di sostegno sulla strada vicinale "Tomolicchio", dissesti generali e fenomeni di allagamenti in Contrada "Abate" zona a Sud-Est dell'abitato.
- Allo stesso modo le forti piogge verificatesi durante i mesi di Ottobre e inizio Novembre 2009 determinarono dissesti diffusi e danni a diverse strade rurali come: strada rurale "Vecchio", strada comunale "traversa della S.P. 161 per Fasano, strada comunale "1° parallela della S.C. "Lamadacqua", strada comunale "traversa della S.P. 34 per Martina Franca".

2. Quadro Conoscitivo

- Eventi meteo climatici avversi accorsi nei giorni 09 e 10 Marzo 2010 determinarono dissesti diffusi e danni a: tratti stradali su numerose strade comunali con particolare riferimento su quelle non asfaltate; frane di materiali terrosi sulle sedi stradali, nonché trascinarsi di materiali inerti provenienti dalle pavimentazioni stradali e massicciate nei suoli confinanti; crolli di muretti, terrapieni e ponticelli. In particolare le strade interessate sono state le seguenti: 2^a traversa della strada ex vicinale "Foggia Nuova"; N° 3 traverse della Provinciale Noci - Castellaneta denominata "Pentima - Bonelli"; Strada comunale S. Vito Barberio; tratto asfaltato Strada "Lamadacqua" e comunque fenomeni di dissesto della rete viaria extraurbana sull'intero agro.
- Eventi meteorici eccezionali nel mese di Marzo 2011 e in particolare nel giorno del 02 Marzo provocarono allagamenti con permanenza di accumulo di acqua in zone vallive e danni a diverse infrastrutture viarie nonché colture agricole.

Dal suddetto quadro conosciuto e dall'analisi degli eventi si sono potute identificare le aree e zone del territorio comunale prevalentemente interessate da fenomeni di dissesto ricorrente e, di conseguenza, individuare i sistemi idraulici di riferimento al fine di indirizzare gli studi specialistici di seguito esposti.

Sono stati, pertanto, individuati n. 4 bacini idrografici di riferimento:

1. **"Via Mottola"**;
2. **"Via Vecchia Putignano"**;
3. **"Zona Industriale"**;
4. **"Monte Imperatore"**

riportati in **Tavola A.6** "*Carta dei bacini idrografici oggetto di studio*".

3 ANALISI DEI VINCOLI DI CARATTERE REGIONALE

3.1 Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

L'Autorità di Bacino della Regione Puglia con la redazione del P.A.I. (Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico), ha provveduto alla perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica e geomorfologica ai fini di cartografare il Rischio associato.

Il Piano, ai sensi dell'articolo 17 comma 6 ter della Legge 18 maggio 1989, n. 183, ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico – operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia.

Finalità del P.A.I. è, sostanzialmente, il miglioramento delle condizioni di regime idraulico e la stabilità geomorfologica. Questo si è reso necessario al fine di consentire uno sviluppo sostenibile e ridurre la pericolosità associata al sito.

Il P.A.I., quindi, ha una doppia valenza: conoscitiva e programmatica.

E', infatti, in continuo aggiornamento e raccoglie e organizza il quadro conoscitivo sulla pericolosità idrogeologica in relazione a fenomeni di esondazione (assetto idraulico) e di dissesto dei versanti (assetto geomorfologico). L'aggiornamento del quadro sulla

3. Analisi dei Vincoli di Carattere Regionale

pericolosità idrogeologica può derivare dall'acquisizione di nuove conoscenze in ambito scientifico o dalla realizzazione di opere di mitigazione oltre che dagli studi e approfondimenti contenuti nei quadri conoscitivi dei Piani Urbanistici.

Dall'analisi della cartografia e dalle informazioni tratte dal WebGIS dell'Autorità di Bacino della Puglia (**Figura 2, a-b-c**), l'area oggetto di studio non ricade in nessuna zona classificata a pericolosità/rischio idraulico e/o geomorfologico, di conseguenza nelle aree non perimetrate (perimetri aggiornati il 29/10/2014) dal P.A.I. sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio, purchè siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento e dal contesto territoriale.

Di seguito si riporta uno stralcio della carta della Pericolosità Geomorfologica, Idraulica e la Classe di Rischio in scala 1: 50.000 (adattata) redatta dalla stessa Autorità di Bacino della Puglia dove si può notare che sull'area del Comune di Noci non ricade nessun vincolo di tale natura.

E' da far presente, tuttavia, che le attuali Norme Tecniche del P.A.I. approvato in novembre 2005, dettano alcune prescrizioni in merito ad aree golenali e pertinenze fluviali riportando, all'art. 6: *“Al fine della salvaguardia dei corsi d'acqua, della limitazione del rischio idraulico e per consentire il libero deflusso delle acque, il PAI individua il reticolo idrografico in tutto il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia, nonché l'insieme degli alvei fluviali in modellamento attivo e le aree golenali, ove vige il divieto assoluto di edificabilità. Nelle aree di cui al comma 1 è consentita la realizzazione di opere di regimazione idraulica. In tali aree può essere consentito lo svolgimento di attività che non comportino alterazioni morfologiche o funzionali ed un apprezzabile pericolo per l'ambiente e le persone. All'interno delle aree in oggetto non può comunque essere consentito:*

- a) *l'impianto di colture agricole, ad esclusione del prato permanente;*
- b) *il taglio o la piantagione di alberi o cespugli se non autorizzati dall'autorità idraulica competente, ai sensi della Legge 112/1998 e s.m.i.;*

3. Analisi dei Vincoli di Carattere Regionale

- c) lo svolgimento delle attività di campeggio;
- d) il transito e la sosta di veicoli se non per lo svolgimento delle attività di controllo e di manutenzione del reticolo idrografico o se non specificatamente autorizzate dall'autorità idraulica competente;
- e) lo svolgimento di operazioni di smaltimento e recupero di cui agli allegati b) e c) del Dlgs 22/97 □ nonché il deposito temporaneo di rifiuti di cui all'art.6, comma 1, lett. m) del medesimo Dlgs 22/97.

All'interno delle aree e nelle porzioni di terreno di cui al precedente comma 1, possono essere consentiti l'ampliamento e la ristrutturazione delle infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico esistenti, comprensive dei relativi manufatti di servizio, riferite a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico, comprensive dei relativi manufatti di servizio, parimenti essenziali e non diversamente localizzabili, purché risultino coerenti con gli obiettivi del presente Piano e con la pianificazione degli interventi di mitigazione. Il progetto preliminare di nuovi interventi infrastrutturali, che deve contenere tutti gli elementi atti a dimostrare il possesso delle caratteristiche sopra indicate anche nelle diverse soluzioni presentate, è sottoposto al parere vincolante dell'Autorità di Bacino.

I manufatti e i fabbricati esistenti all'interno delle aree e nelle porzioni di terreno di cui al precedente comma 1, ad esclusione di quelli connessi alla gestione idraulica del corso d'acqua, sono da considerare in condizioni di rischio idraulico molto elevato e pertanto le Regioni, le Province e i Comuni promuovono e/o adottano provvedimenti per favorire, anche mediante incentivi, la loro rilocalizzazione.

Sui manufatti e fabbricati posti all'interno delle aree di cui al comma 1 sono consentiti soltanto:

- a) interventi di demolizione senza ricostruzione;
- b) interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art.

3. Analisi dei Vincoli di Carattere Regionale

3 del D.P.R. n.380/2001 e s.m.i. a condizione che non concorrano ad incrementare il carico urbanistico;

c) interventi volti a mitigare la vulnerabilità dell'edificio senza che essi diano origine ad aumento di superficie o volume.

Per tutti gli interventi consentiti nelle aree di cui al comma 1 l'AdB richiede, in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che ne analizzi compiutamente gli effetti sul regime idraulico a monte e a valle dell'area interessata. Detto studio è sempre richiesto per gli interventi di cui ai commi 2, 4 e 6.

Quando il reticolo idrografico e l'alveo in modellamento attivo e le aree golenali non sono arealmente individuate nella cartografia in allegato e le condizioni morfologiche non ne consentano la loro individuazione, le norme si applicano alla porzione di terreno a distanza planimetrica, sia in destra che in sinistra, dall'asse del corso d'acqua, non inferiore a 75 mt".

Al successivo art. 10, si riporta quanto segue: "Ai fini della tutela e dell'adeguamento dell'assetto complessivo della rete idrografica, il P.A.I. individua le fasce di pertinenza fluviale.

All'interno delle fasce di pertinenza fluviale sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio, a condizione che venga preventivamente verificata la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica, come definita all'art. 36, sulla base di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica subordinato al parere favorevole dell'Autorità di Bacino.

Quando la fascia di pertinenza fluviale non è arealmente individuata nelle cartografie in allegato, le norme si applicano alla porzione di terreno, sia in destra che in sinistra, contermina all'area golenale, come individuata all'art. 6 comma 8, di ampiezza comunque non inferiore a 75 mt".

3. *Analisi dei Vincoli di Carattere Regionale*

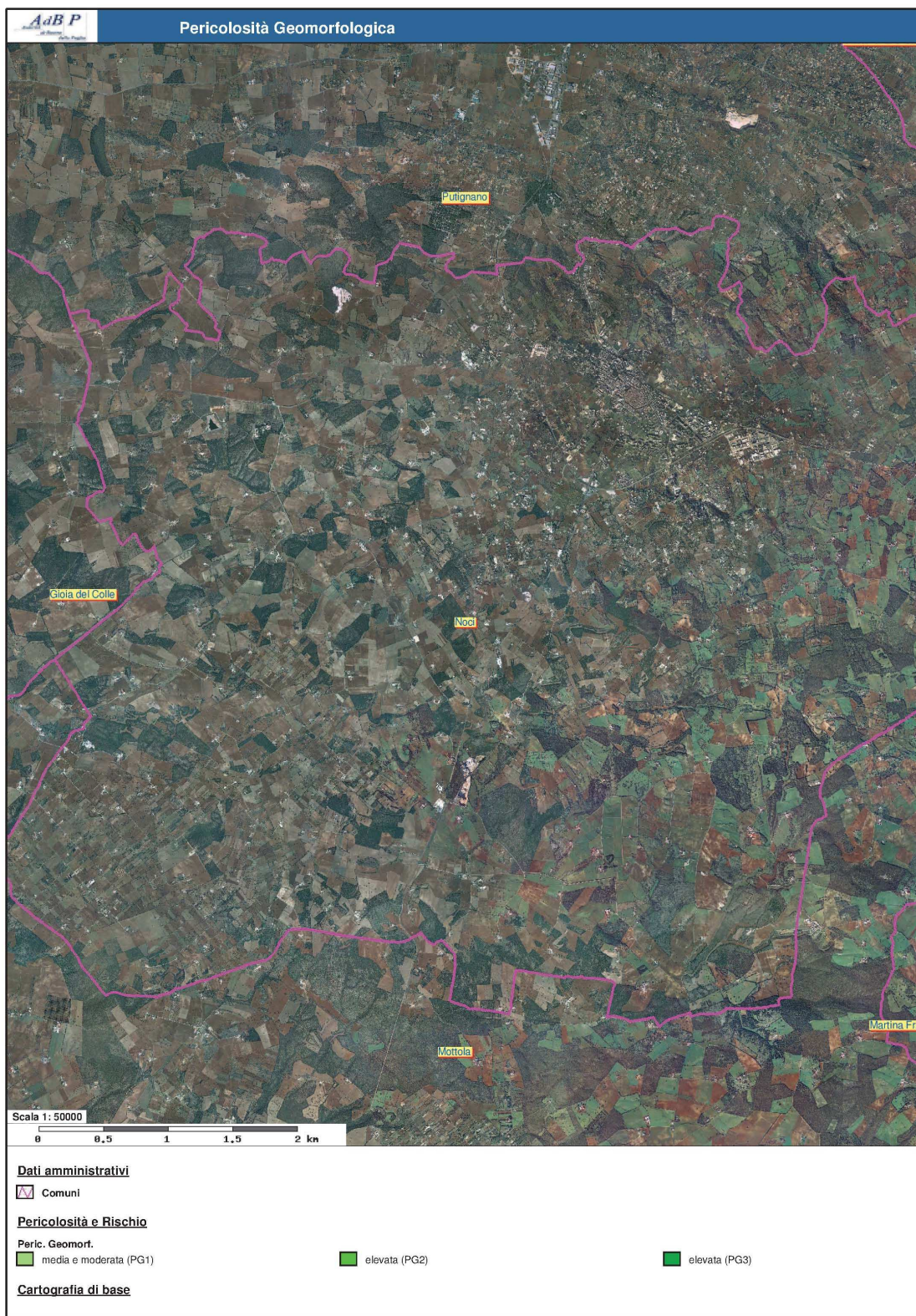


Figura 2a – Pericolosità geomorfologica relativa al territorio del Comune di Noci (BA).

3. *Analisi dei Vincoli di Carattere Regionale*

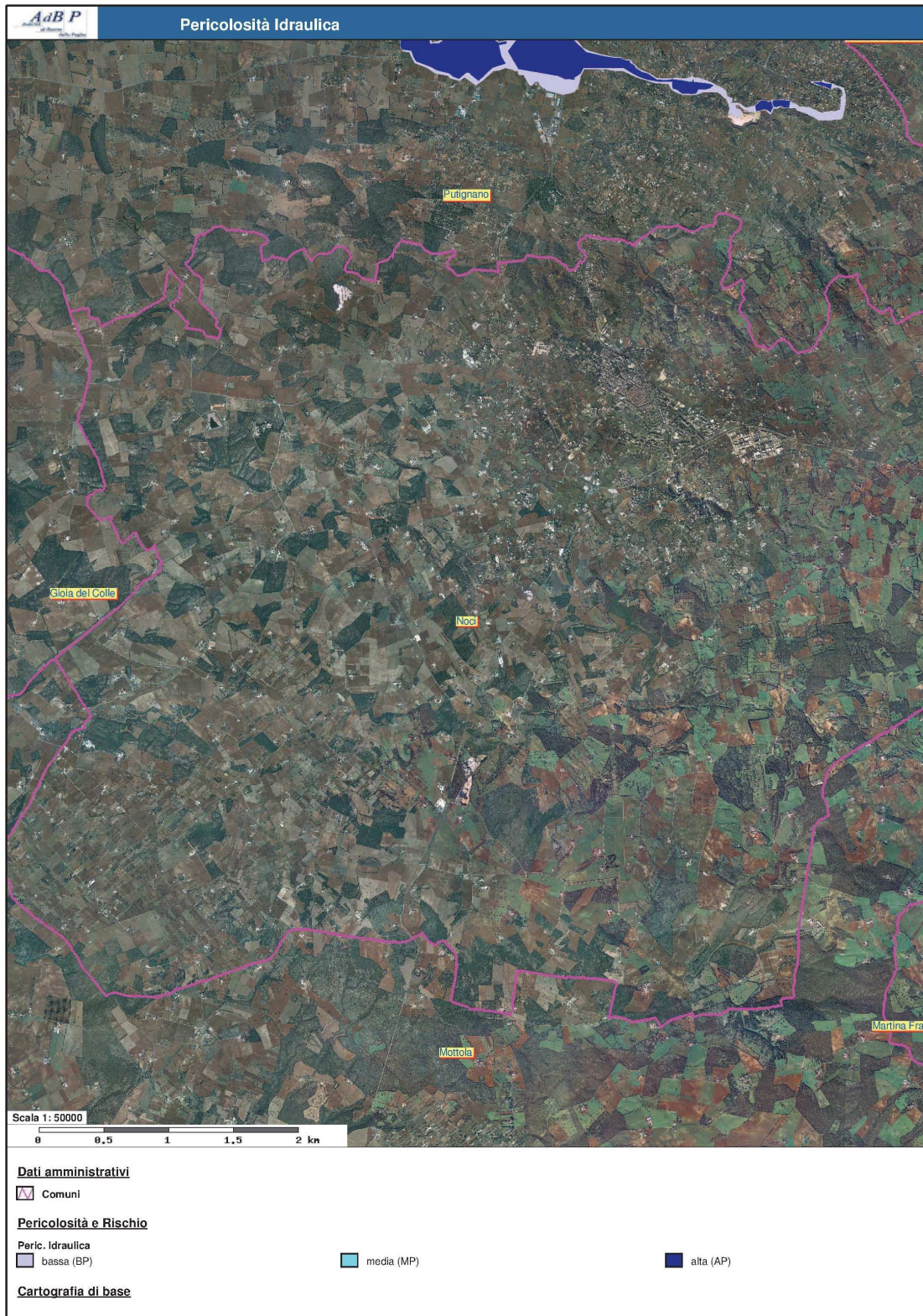


Figura 2b – Pericolosità idraulica relativa al territorio del Comune di Noci (BA).

3. *Analisi dei Vincoli di Carattere Regionale*

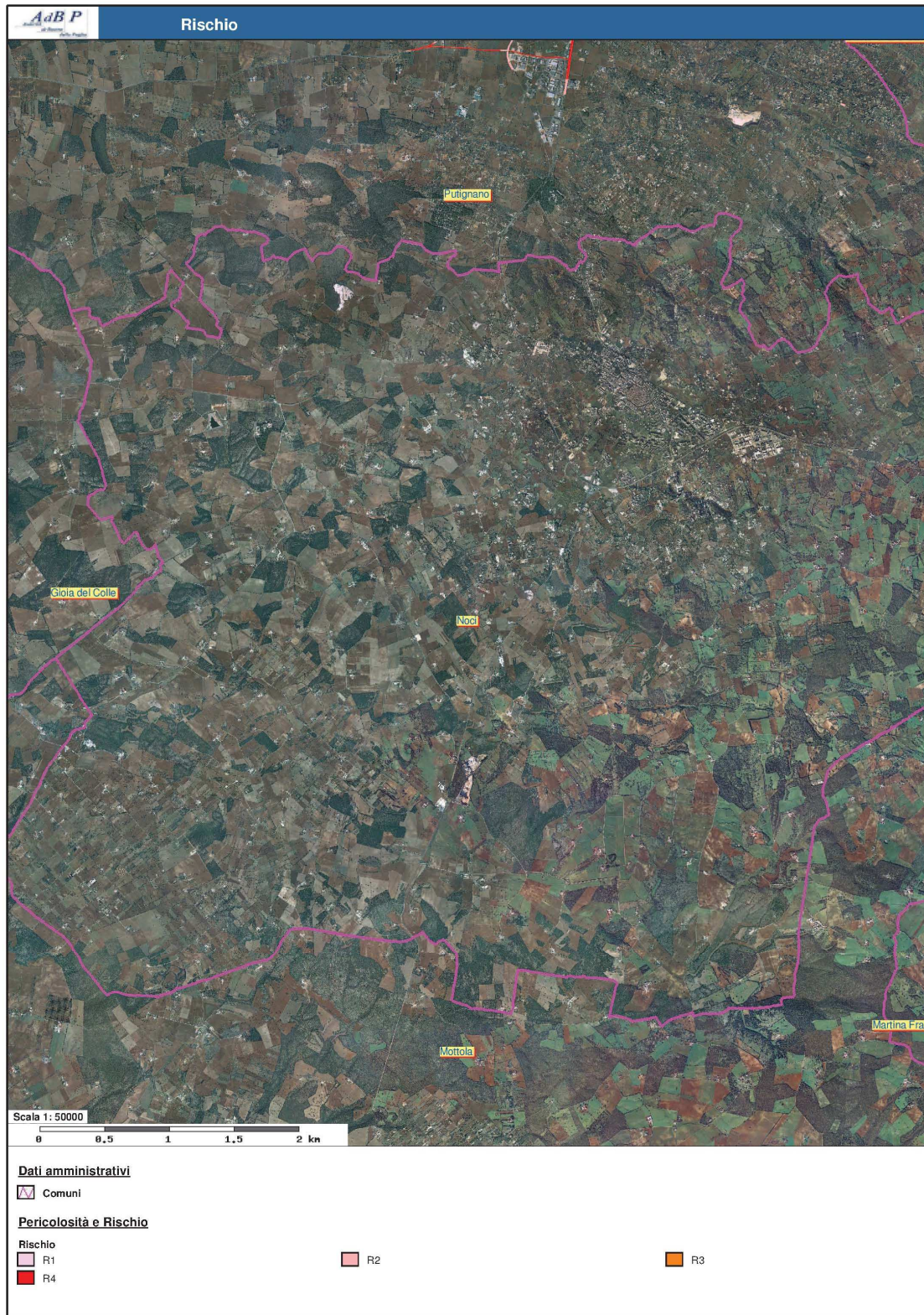


Figura 2c – Carta del Rischio relativo al territorio del Comune di Noci (BA).

3. Analisi dei Vincoli di Carattere Regionale

3.2 Pianificazione Paesaggistica

Attualmente in Regione Puglia è vigente il Piano Urbanistico Territoriale Tematico per il Paesaggio (P.U.T.T./P.) approvato con delibera Giunta Regionale n° 1748 del 15 Dicembre 2000, in adempimento di quanto disposto dalla legge n. 431 del 8 Agosto 1985 e dalla legge regionale n.56 del 31 Maggio 1980. Il decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 (Codice dei beni culturali e del paesaggio), unitamente alla Legge Regionale n° 20 del 7 ottobre 2009, "*Norme per la pianificazione paesaggistica*", hanno innovato la materia paesaggistica, con riferimento tanto ai contenuti, alla forma e all'iter di approvazione del piano paesaggistico, quanto al procedimento di rilascio dell'autorizzazione paesaggistica.

La Giunta Regionale, con delibera n. 1748 del 15 dicembre 2000, ha approvato definitivamente il Piano Urbanistico Territoriale Tematico per il Paesaggio (P.U.T.T./P.), strumento di pianificazione territoriale sovraordinato agli strumenti di pianificazione comunale, che ha la finalità primaria di promuovere la salvaguardia e la valorizzazione delle risorse territoriali ed in particolare di quelle paesaggistiche.

Il P.U.T.T./P. ha integrato gli ordinamenti vincolistici già vigenti sul territorio ed introdotto nuovi contenuti normativi, in particolare, "indirizzi di tutela" volti a tutelare i valori paesaggistici dei cosiddetti Ambiti Territoriali Estesi e "prescrizioni di base" volte a tutelare i cosiddetti Ambiti Territoriali Distinti, ovvero le componenti paesaggistiche "strutturanti" l'attuale assetto paesistico-ambientale.

Con D.G.R. n° 1435 del 2 agosto 2013 è stato adottato il nuovo piano paesaggistico (PPTR) adeguato al Codice. Nelle more della definitiva approvazione del PPTR (previa condivisione con il Ministero delle perimetrazioni dei beni paesaggistici e della relativa disciplina nell'ambito dell'accordo di cui all'art. 143, comma 2) continua naturalmente a trovare applicazione il PUTT/p e contestualmente vigono le norme di salvaguardia di cui all'art 105 delle NTA dell'adottato PPTR.

La Legge regionale n. 20 del 7 ottobre 2009, "*Norme per la pianificazione paesaggistica*" e ss. mm. ed ii. (artt. 7sgg) e con le seguenti successive Deliberazioni della Giunta Regionale 2273/2009 e 299/2010, ha ridisciplinato, tra l'altro, il procedimento di

3. Analisi dei Vincoli di Carattere Regionale

rilascio dell'autorizzazione paesaggistica e di delega ai soggetti titolati per il rilascio delle autorizzazioni paesaggistiche e sono state dettate disposizioni in merito alla istituzione delle Commissioni Locali per il Paesaggio ai criteri per la verifica, nei soggetti delegati all'esercizio della funzione autorizzatoria in materia di paesaggio, della sussistenza dei requisiti di organizzazione e di competenza tecnico-scientifica.

I paesaggi della Puglia, prodotti nel tempo lungo della storia delle "genti vive" che li hanno abitati e che li abitano, costituiscono il principale bene patrimoniale (ambientale, territoriale, urbano, socio/culturale) e la principale testimonianza identitaria per realizzare un futuro socio/economico durevole e sostenibile della regione. Un'identità che si è costruita nell'azione umana di lunga durata, esito evolutivo di dinamiche relazionali nelle quali le dimensioni dello spazio e del tempo sono indissolubilmente legate.

I paesaggi della Puglia sono le coste, la campagna ulivetata, le pseudosteppe dell'Alta Murgia, gli agrumeti garganici, i vigneti a spalla salentini, i paesaggi cerealicoli del tavoliere, ma anche le masserie, i tanti centri storici, un patrimonio di storie e cultura immersi in una natura addomesticata di valore inestimabile.

Il nuovo P.P.T.R. della Puglia è definito da tre componenti: l'Atlante del Patrimonio Ambientale, Paesaggistico e Territoriale, lo Scenario Strategico, le Norme.

L'Atlante del Patrimonio Ambientale, Paesaggistico e Territoriale: la prima parte del PPTR descrive l'identità dei tanti paesaggi della Puglia e le regole fondamentali che ne hanno guidato la costruzione nel lungo periodo delle trasformazioni storiche. L'identità dei paesaggi pugliesi è descritta nell'Atlante del Patrimonio Territoriale, Ambientale e Paesaggistico; le condizioni di riproduzione di quelle identità sono descritte dalle Regole Statutarie, che si propongono come punto di partenza, socialmente condiviso, che dovrà accumunare tutti gli strumenti pubblici di gestione e di progetto delle trasformazioni del territorio regionale.

Lo Scenario Strategico: la seconda parte del PPTR consiste nello Scenario Paesaggistico che consente di prefigurare il futuro di medio e lungo periodo del territorio della Puglia. Lo scenario contiene una serie d'immagini, che rappresentano i tratti essenziali degli assetti territoriali desiderabili; questi disegni non descrivono direttamente

3. Analisi dei Vincoli di Carattere Regionale

delle norme, ma servono come riferimento strategico per avviare processi di consultazione pubblica, azioni, progetti e politiche, indirizzati alla realizzazione del futuro che descrivono. Lo scenario contiene poi delle Linee Guida, che sono documenti di carattere più tecnico, rivolti soprattutto ai pianificatori e ai progettisti. Le linee guida descrivono i modi corretti per guidare le attività di trasformazione del territorio che hanno importanti ricadute sul paesaggio: l'organizzazione delle attività agricole, la gestione delle risorse naturali, la progettazione sostenibile delle aree produttive, e così via. Lo scenario contiene infine una raccolta di *Progetti Sperimentali integrati di Paesaggio* definiti in accordo con alcune amministrazioni locali, associazioni ambientaliste e culturali. Sono parte integrante tutti i progetti riguardano aspetti di riproduzione e valorizzazione delle risorse territoriali relativi ai diversi settori e tutti i progetti sono proposti come buoni esempi di azioni coerenti con gli obiettivi del piano.

Le Norme: La terza parte del piano è costituita dalle Norme Tecniche di Attuazione, che sono un elenco d'indirizzi, direttive e prescrizioni che dopo l'approvazione del PPTR avranno un effetto immediato sull'uso delle risorse ambientali, insediative e storico-culturali che costituiscono il paesaggio. In parte i destinatari delle norme sono le istituzioni che costruiscono strumenti di pianificazione e di gestione del territorio e delle sue risorse: i piani provinciali e comunali, i piani di sviluppo rurale, i piani delle infrastrutture, e così via. Quelle istituzioni dovranno adeguare nel tempo i propri strumenti di pianificazione e di programmazione agli obiettivi di qualità paesaggistica previsti dagli indirizzi e dalle direttive stabiliti dal piano per le diverse parti di territorio pugliese. In parte i destinatari delle norme sono tutti i cittadini, che potranno intervenire sulla trasformazione dei beni e delle aree riconosciuti come meritevoli di una particolare attenzione di tutela, secondo le prescrizioni previste dal piano.

Dall'analisi della cartografia reperibile presso la Regione Puglia, Ufficio Parchi e Riserve (Rete Natura 2000), il Comune di Noci presenta aree soggette a vincoli S.I.C. (*Sito d'Interesse Comunitario*). Nella cartografia allegata alla presente (**Tavola A. 5** "*Carta dei Vincoli P.P.T.R.*") sono riportati i principali vincoli paesaggistici insistenti sul territorio comunale.

3. Analisi dei Vincoli di Carattere Regionale

Le aree sottoposte a tutela del P.P.T.R. si dividono in: Beni Paesaggistici (art. 134 del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio) e Ulteriori Contesti Paesaggistici (art. 143 comma 1 lettera e del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio). I primi sono soggetti ad autorizzazione paesaggistica ai sensi dell'art. 90 N.T.A.-P.P.T.R., mentre i secondi sono soggetti ad accertamento di compatibilità paesaggistica ai sensi dell' art. 91 N.T.A.-P.P.T.R..

Tra gli ulteriori contesti paesaggistici, viene individuata la Struttura Idrogeomorfologica (6.1 – P.P.T.R.) che si divide a sua volta in:

- Componenti geomorfologiche (6.1.1 – P.P.T.R.): versanti, lame e gravine, doline, grotte, geositi, inghiottitoi e cordoni dunari;
- Componenti idrologiche (6.1.2 – P.P.T.R.): territori costieri, territori contermini ai laghi, fiumi e torrenti e corsi d'acqua iscritti negli elenchi delle acque pubbliche, reticolo idrografico connesso R.E.R. (*Rete Ecologica Regionale*), sorgenti e aree soggette a vincolo idrogeologico.

Queste componenti sono state individuate utilizzando:

- Carta idrogeomorfologica;
- Decreti acque pubbliche;
- Cartografie storiche;
- Catasto grotte;
- Modello digitale del terreno (D.T.M.);
- Catasto geositi;
- Mappe originali del "Vincolo Idrogeologico";
- Carta tecnica regionale.

Per quanto attiene le componenti idrologiche, all'art. 41 del P.P.T.R. vengono definiti:

3. Analisi dei Vincoli di Carattere Regionale

- a. Territori costieri: consistono nella fascia di profondità costante di 300 m a partire dalla linea di costa individuati dalla Carta Tecnica Regionale;
- b. Territori contermini ai laghi: consistono nella fascia di profondità costante di 300 m a partire dal perimetro esterno dei laghi sulla base della Carta Tecnica Regionale.
- c. Fiumi, torrenti e corsi d'acqua iscritti nell'elenco delle acque pubbliche: consistono in fiumi e torrenti e altri corsi d'acqua iscritti negli elenchi delle acque pubbliche approvate ai sensi del R.D. n. 1775/33 e nelle relative sponde o piedi di argine, ove riconoscibili, per una fascia di 150 m da ciascun lato. Ove le sponde, o gli argini, non siano riconoscibili, si è definita la fascia di 150 m a partire dalla linea di compluvio identificata nel reticolo idrografico della Carta Geomorfologica Regionale.

Per quanto attiene, quindi, la Disciplina dei Beni Paesaggistici e degli Ulteriori Contesti, si fa riferimento agli artt.:

- Art. 43 – Indirizzi per le componenti idrologiche;
- Art. 44 – direttive per le componenti idrologiche;
- Art. 45 – prescrizioni per i territori costieri e i territori contermini i laghi;
- Art. 46 – prescrizioni per i fiumi, torrenti e corsi d'acqua iscritti negli elenchi delle acque pubbliche;
- Art. 47 – misura di salvaguardia e di utilizzo per il Reticolo Idrografico di connessione alla R.E.R.;
- Art. 48 – misure di salvaguardia e di utilizzo per le sorgenti

relativi alle Norme Tecniche di Attuazione del P.P.T.R..

Le componenti geomorfologiche, invece, sono menzionate nel successivo art. 49, "Individuazione delle componenti geomorfologiche"(versanti, lame, gravine, doline, grotte, geositi, inghiottitoi, cordoni dunari).

3. Analisi dei Vincoli di Carattere Regionale

Gli indirizzi atti a tutelare tali componenti sono riportati all'art. 51 e devono essere volti a valorizzare la qualità paesaggistica assicurando la salvaguardia del territorio sia sotto il profilo idrogeologico che sismico e prevenire la pericolosità e i rischi nel rispetto delle caratteristiche paesaggistiche dei luoghi. Gli interventi che interessano lame e gravine devono garantire il ruolo di componenti idrauliche, ecologiche storico testimoniali del paesaggio pugliese. Devono, inoltre, assicurare il mantenimento della sezione idraulica, salvaguardando gli elementi di naturalità e mitigando i processi di frammentazione degli habitat e degli ecosistemi. L'insieme dei solchi di natura carsica deve essere oggetto di interventi di riqualificazione ecologico-naturalistica e ricostruzione tra insediamenti e valori di contesto (es: masserie) garantendo l'accessibilità e la fruibilità esclusivamente attraverso mobilità dolce (ciclo-pedonale) con un limitato impatto paesaggistico e ambientale.

Le Direttive attinenti le Componenti Geomorfologiche sono riportate all'art. 52 che riporta: " Gli enti e i soggetti pubblici, nei piani urbanistici, territoriali e di settore di competenza promuovono azioni di salvaguardia e tutela delle superfici boscate regionali come aree per la difesa dai dissesti geomorfologici e per la ricarica della falda idrica; individuano ulteriori lame e gravine ricadenti nel loro territorio e facenti parte di corridoi R.E.R; dettagliano le aree compromesse ricadenti nelle zone sottoposte a tutela e stabiliscono la disciplina di ripristino ecologico dei sedimenti e di riqualificazione urbanistica nel rispetto delle relative prescrizioni; individuano aree esterne a tali zone e delocalizzano volumi che ricadrebbero in zone vincolate. Gli enti locali in sede di adeguamento e formazione dei piani urbanistici propongono l'individuazione di ulteriori doline meritevoli di tutela e valorizzazione; individuano ulteriori località o aree del territorio con particolare interesse geologico, geomorfologico, idrogeologico e paleontologico.

Le grotte individuate e incluse nel "Catasto delle grotte e cavità artificiali" di cui alla L.R. n. 33/2009 – "Tutela e valorizzazione del patrimonio geologico e speleologico", nella fase di adeguamento dei piani locali territoriali e urbanistici, sono sottoposte, oltre alle norme previste dall'art. 6 della stessa Legge e dalle prescrizioni previste dal Piano di Assetto Idrogeologico, anche alle prescrizioni previste dalle norme sulle "grotte".

3. Analisi dei Vincoli di Carattere Regionale

Per quanto attiene la salvaguardia dei versanti, si faccia riferimento all'art. 53 del P.P.T.R. secondo cui non sono da considerarsi ammissibili:

- Interventi che alterino l'equilibrio idrogeologico o l'assetto geomorfologico del versante;
- Ogni trasformazione di aree boschive in altri usi;
- Nuove attività estrattive o impianti per la produzione di energia (fatta eccezione per quelli previsti dalle "Linee guida per la progettazione e localizzazione di impianti di energia rinnovabile" del PPTR);

Sono, invece, ammissibili:

- Interventi che si realizzano del rispetto dell'assetto paesaggistico e che garantiscono la permeabilità dei suoli, la piantumazione, assicurino la visuale e l'accessibilità pubblica prevedendo muretti a secco realizzati con materiali locali (nel caso di divisione di fondi) e siepi vegetali realizzate con specie arbustive autoctone.

Le lame e le gravine sono disciplinate dall'art. 54 che ne definisce le misure di salvaguardia e utilizzo.

Gli interventi non consentiti sono:

- Trasformazione del patrimonio edilizio e infrastrutturale esistente che comprometta i caratteri naturali, morfologici e storico – culturali del contesto paesaggistico;
- interrompano la continuità delle lame e delle gravine o ne compromettano la loro visibilità, fruibilità e accessibilità;
- escavazione ed estrazione del materiale litoide;
- nuove attività estrattive e ampliamenti;

3. Analisi dei Vincoli di Carattere Regionale

- trasformazione profonda dei suoli, dissodamento o movimento terra e qualsiasi altro intervento che turbi gli equilibri idrogeologici o alteri il profilo del terreno;
- sversamento di reflui non trattati;
- realizzazione di impianti di energia (fatta eccezione per quelli previsti dalle "Linee guida" del P.P.T.R.);
- realizzazione di gasdotti, elettrodotti, linee telefoniche o elettriche secondarie (ad eccezione degli allacciamenti domestici).

Sono ammissibili i seguenti interventi:

- salvaguardia e integrazione dei complessi vegetazionali e naturali esistenti;
- adeguamento di tracciati viari e ferroviari esistenti che non comportino alterazioni dell'idrologia e non compromettano i caratteri morfologici, ecosistemici e paesaggistici dei luoghi;
- ristrutturazioni di manufatti edilizi legittimamente esistenti destinati ad attività agricole senza aumento di volumetria;
- percorsi di "mobilità dolce";
- interventi di miglioramento del regime idrico senza opere di artificializzazione del corso d'acqua;
- sistemazioni della vegetazione riparia;
- ristrutturazione edilizia che preveda la rimozione di parti in contrasto con le qualità paesaggistiche.

4 IL RISCHIO IDROGEOLOGICO

4.1 Definizione del Rischio

Il concetto di Rischio è un concetto molto complesso, definito scientificamente come *“il valore atteso del danno associato a un dato sistema, in un tempo prestabilito”* (Monaci e Schipani, 2010). Il rischio idrogeologico è riferito ad eventi naturali di diverso grado ed intensità (alluvioni, frane, valanghe, colate detritiche) che producono danni visibili e quantificabili a persone e a cose.

L'Autorità di Bacino della Puglia ha provveduto a cartografare le zone a rischio di inondazione mediante Piani Stralcio di Difesa dalle Alluvioni inserendoli, di fatto, tra i cosiddetti interventi *“non strutturali”*, ossia tra gli interventi di carattere amministrativo finalizzati alla riduzione dei danni conseguenti ad una piena, senza tuttavia che si intervenga direttamente sulla causa. Il concetto di *“Rischio”* normalmente adottato è conforme con quanto proposto dalle commissioni tecnico-scientifiche dell'UNESCO. In esso sono contenute le seguenti definizioni funzionali:

- **Pericolosità o Hazard (H):** la probabilità che un evento dannoso di una certa intensità si verifichi in un dato periodo di tempo, in una data area e per determinate cause di innesco;

4. Il Rischio Idrogeologico

- **Elementi a rischio (E):** popolazione, proprietà, attività economiche a rischio in una data area;
- **Vulnerabilità (V):** grado di perdita atteso su un dato elemento o gruppi di elementi a rischio derivante da un potenziale fenomeno distruttivo di una data intensità. La vulnerabilità viene espressa in una scala da 0 a 1 (rispettivamente, nessuna perdita e perdita totale);
- **Rischio specifico (R_s):** grado di perdita atteso a causa di un determinato fenomeno naturale di data intensità; è funzione della pericolosità e della vulnerabilità: $R_s = H \times V$;
- **Rischio totale (R):** si intende il grado di perdite attese in termini di vite umane, feriti, danni alla proprietà ed alle infrastrutture, danni diretti ed indiretti all'economia a causa di una determinata pericolosità geologica.

Quindi il rischio totale R si esprime applicando il rischio specifico R_s agli elementi a rischio (E):

$$R = H \times V \times E = R_s \times E$$

Dunque da un punto di vista più descrittivo e più comprensibile, si può intendere il rischio come la combinazione della pericolosità con il danno atteso. La corretta individuazione dei pericoli può contribuire in modo significativo alla *mitigazione* del rischio sia idraulico che idrogeologico (Murachelli e Riboni, 2010); mitigazione attuabile attraverso attività di:

- **Previsione:**

Attività dirette allo studio ed alla determinazione delle cause dei fenomeni calamitosi, alla identificazione dei rischi ed alla individuazione delle zone del territorio soggette a rischio. E' un'azione di tipo conoscitivo e deve fornire un quadro accurato e preciso delle aree vulnerabili e del rischio al quale sono sottoposte le persone ed i beni in esse presenti. L'integrazione tra la conoscenza di caratteristiche del bacino quali la struttura del reticolo idrografico, l'ubicazione degli strumenti di misura delle precipitazioni,

4. Il Rischio Idrogeologico

la localizzazione degli insediamenti civili e industriali, la presenza di opere di difesa e le metodologie di analisi e previsione delle grandezze pluvio-idrometriche permette l'elaborazione di utilissimi elaborati tecnici quali le carte delle aree inondabili, il catalogo degli elementi a rischio, la carta del danno, gli scenari di evento e la carta del rischio.

- **Prevenzione:**

Attività volte ad evitare o ridurre al minimo la possibilità che si verifichino danni conseguenti agli eventi catastrofici anche sulla base delle conoscenze acquisite per effetto delle attività di previsione. Si concretizzano attraverso due tipologie di interventi: interventi non strutturali per ridurre la probabilità che accada un evento, in cui si inseriscono i vari modelli mono e bi-dimensionali per la simulazione delle inondazioni, le metodologie di zonazione per l'elaborazione di carte delle aree a rischio e i criteri generali per la gestione dell'emergenza, ed interventi strutturali per ridurre il danno con la progettazione, la verifica e la realizzazione di opere necessarie per la protezione dalle piene. Risulta dunque molto importante, per far fronte al rischio in ambiente, l'attuazione di una pianificazione e di una gestione del territorio attenta ai problemi del rischio idrogeologico. In questo ambito assumono particolare importanza gli interventi atti alla regolazione dell'uso del suolo e le mappe del rischio (richieste a livello europeo dalle direttive europee contro il rischio idrogeologico) essendo le basi per l'attuazione delle corrette decisioni dell'ente pubblico in rispetto alle normative edilizie.

In ambito montano le aree di conoide, a dolce pendenza e rilevate rispetto al fondo vallivo, costituiscono i siti privilegiati per l'urbanizzazione, sempre più sviluppata nelle valli alpine soprattutto a scopi turistici. Per questa ragione la valutazione della pericolosità in conoide è fondamentale per successive analisi di rischio.

I criteri per la perimetrazione degli ambiti di pericolosità trovano le loro basi su due specifici ambiti: il primo di carattere idraulico e il secondo, invece, di carattere geomorfologico (Covelli, 2006). In particolare, con riferimento agli ambiti di pericolosità idraulica, la perimetrazione delle aree di inondazione avviene in funzione del periodo di ritorno del fenomeno di piena, dei livelli idrici attesi e della velocità raggiunta dalla corrente. In quest'ambito è pertanto possibile riconoscere un *iter* operativo, comune a

4. Il Rischio Idrogeologico

tutte le Autorità di Bacino nazionali, per la perimetrazione delle aree inondabili, basato sulla definizione di pericolosità in funzione della probabilità di inondazione e delle caratteristiche dell'onda di sommersione.

La procedura di perimetrazione degli ambiti di pericolosità idraulica può essere riassunta in quattro passaggi:

1. individuazione e caratterizzazione dell'ambito fisico oggetto di studio, al fine di definire i tratti di alveo ritenuti idrologicamente confrontabili per dimensionamento geometrico, e attribuzione dei coefficienti di scabrezza;
2. analisi idrologica, mediante lo sviluppo di un modello idrologico finalizzato a determinare gli eventi di piena di progetto per differenti periodi di ritorno;
3. modellazione idraulica, per la determinazione dei livelli idrici associati agli eventi di piena, anche nel caso di sormonto o di rottura arginale o di presenza di infrastrutture esistenti o di progetto che interagiscono con l'evoluzione del processo di piena;
4. delimitazione delle aree inondabili mediante il confronto dei risultati della simulazione idraulica con un modello morfologico del terreno.

La probabilità di allagamento analizzata è quella indotta dal superamento della capacità di deflusso dei corsi d'acqua oggetto di modellazione nel territorio comunale nocese (**Tavola A.1** - "*Limiti Comunali*"), causa dei fenomeni esondativi. Le indicazioni circa la propensione all'allagabilità di porzioni del territorio comunale, saranno fornite considerando tempi di ritorno (T_r) pari a 30, 200 e 500 anni in relazione all'individuazione delle seguenti classi di pericolosità idraulica (Titolo VII - Glossario - Norme Tecniche di Attuazione P.A.I. dell'Autorità di Bacino della Puglia):

- **Area ad alta pericolosità idraulica (A.P.):** porzione del territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno inferiore o pari a 30 anni;

4. Il Rischio Idrogeologico

- **Area a media pericolosità idraulica (M.P.):** porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni;
- **Area a bassa pericolosità idraulica (B.P.):** porzione di territorio soggette ad essere allagate per eventi di piena con tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni.

Per finire, un aspetto molto importante da considerare, è il concetto di rischio residuo o rischio accettabile, definito come il livello di rischio compatibile con le condizioni economiche e sociali di una data area (Murachelli e Riboni, 2010). È infatti opinione comune pensare che un intervento di difesa del territorio porti a un livello di rischio nullo anche in zone del territorio ad elevata pericolosità. Questo concetto è alquanto fuorviante in quanto il Rischio può essere minimizzato, ma sicuramente non annullato. Ogni opera è infatti progettata per ridurre il fattore di rischio a un valore ritenuto accettabile, al di sotto del quale l'incremento dei costi dell'opera supera il beneficio marginale in termini di riduzione del danno. La sicurezza assoluta e totale è dunque solo un'illusione: la realizzazione di qualsivoglia opera di difesa di un bacino non giustifica la possibilità di poter costruire indiscriminatamente su qualsiasi porzioni di territorio.

4.2 Obiettivi

Il presente studio idrologico-idraulico, volto a supportare gli Strumenti Urbanistici Comunali, si articola nelle seguenti fasi:

- **Quadro conoscitivo:** finalizzato a raccogliere elementi utili per la definizione della pericolosità idraulica dei corsi d'acqua attraverso una ricostruzione storico-geografica delle criticità note e documentate nel territorio comunale e un'analisi delle principali caratteristiche dei relativi bacini idrografici dal punto di vista geologico, geomorfologico e di copertura del suolo;
- **Analisi idrologica** contenente la metodologia adottata per la stima delle portate di progetto (piena) per vari tempi di ritorno (T_r) in relazione ai vari bacini idrografici identificati;

4. Il Rischio Idrogeologico

- **Analisi idraulica** contenente la descrizione delle modellazioni svolte ed i risultati conseguiti in termini di stima e localizzazione delle volumetrie di esondazione per i vari tempi di ritorno e la relativa perimetrazione delle aree allagabili.

5 ANALISI IDROLOGICA

5.1 Ricostruzione L.S.P.P. con Metodo VA.PI. (VALutazione Plene)

Per la stima della precipitazione critica nei bacini in esame, si è fatto ricorso alla procedura di analisi regionale VAPI che consente di valutare l'altezza di pioggia anche in bacini carenti di strumentazioni per la misurazione delle piogge e/o lì dove i dati misurati risultino insufficienti.

Il metodo VA.PI. fa riferimento ad un approccio di tipo probabilistico al fine di valutare gli estremi idrologici. Non esiste, quindi, un valore massimo assoluto, ma ad ogni valore di altezza di pioggia e/o di portata è associata una probabilità che si verifichino eventi con valori superiori. Con questo metodo, infatti, è adottata una distribuzione delle probabilità a doppia componente (T.C.E.V. - "Two Component Extreme Value Distribution") che traduce, in termini statistici, la differente provenienza degli estremi idrologici interpretando, così, gli eventi massimi annuali come il valore estratto da una miscela di due popolazioni distinte: la prima produce gli eventi massimi ordinari, componente ordinaria, più frequenti e meno intensi in media; la seconda produce gli eventi massimi straordinari, componente straordinaria, meno frequenti e più intensi (Rossi *et al.*, 1984).

5. Analisi Idrologica

Per ciò che concerne la Regione Puglia, al primo livello di regionalizzazione è stata evidenziata un'unica regione pluviometrica omogenea mentre, per quanto concerne il secondo livello di analisi, sono state distinte due zone: la Puglia Settentrionale e la Puglia centro-meridionale. L'analisi di terzo livello, condotta successivamente, ha permesso di evidenziare 6 zone pluviometriche distinte e omogenee (**Figura 3**). Tale analisi è stata condotta operando una regressione delle precipitazioni di diversa durata con una quota Z .

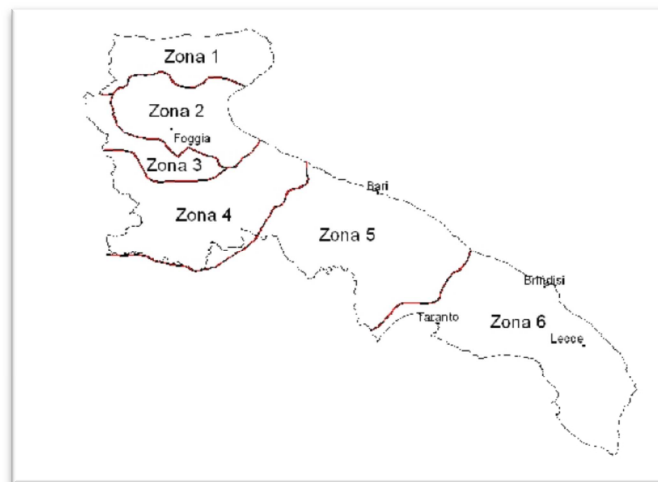


Figura 3 – Zone pluviometriche omogenee per la Regione Puglia.

A ciascuna delle zone è associata una curva di possibilità pluviometrica, solitamente funzione della quota assoluta sul livello del mare. Attraverso questa curva, è possibile valutare l'altezza di pioggia critica per i differenti intervalli di precipitazione e per tempi di ritorno prescelti:

ZONA 1:	$X_{(t,z)} = 26,8 \uparrow_{[(0,720+0,00503 z)/3,178]}$
ZONA 2:	$X_{(t,z)} = 22,23 \uparrow^{0,247}$
ZONA 3:	$X_{(t,z)} = 23,325 \uparrow_{[(0,0696+0,00531 z)/3,178]}$
ZONA 4:	$X_{(t,z)} = 24,70 \uparrow^{0,256}$
ZONA 5:	$X_{(t,z)} = 28,2 \uparrow_{[(0,0628+0,0002 z)/3,178]}$

ZONA 6:	$x_{(t,z)} = 33,7 t^{[(0,488+0,00022 z)/3,178]}$
---------	--

Ai valori così ottenuti, vanno applicati dei coefficienti moltiplicativi e cioè: il fattore di crescita (K_T) relativo ai tempi di ritorno dell'evento (espresso in anni) e il fattore di riduzione areale (K_A) relativo alla superficie del bacino (espressa in Km²) e alla durata dell'evento (espressa in ore).

Nel caso oggetto di studio, il valore di K_A è tendente all'unità pertanto, a vantaggio di sicurezza, questo parametro non verrà considerato nella valutazione della Curva della Possibilità pluviometrica.

Il valore di K_T , invece, può essere calcolato in funzione del tempo di ritorno considerato attraverso la funzione:

$$K_T = a + b \ln(T)$$

Per la Puglia centro – meridionale, i coefficienti da adottare sono i seguenti:

$$a = 0,1599 \text{ e } b = 0,5166$$

Alla luce di quanto fin qui riportato, quindi, e considerando che l'area oggetto di studio ricade in zona 5, si può scrivere quanto segue:

$$x_{(t,z)} = 28,2 t^{[(0,628+0,00022z)/3,178]}$$

Sono state, quindi calcolate le altezze di pioggia critica riportate in Tabella 1 e le curve di possibilità pluviometrica (L.S.P.P.) riportate in **Figura 4**:

t (ore)	h (mm)	T = 30 anni (h*kt)	T = 200 anni (h*kt)	T = 500 anni (h*kt)
1	28,20	54,06	81,70	95,04
2	32,90	63,06	95,31	110,88
3	36,00	69,01	104,30	121,34
4	38,38	73,57	111,18	129,35
5	40,33	77,31	116,84	135,93
6	42,00	80,51	121,67	141,55

7	43,46	83,32	125,91	146,49
8	44,77	85,83	129,71	150,90
9	45,96	88,10	133,15	154,90
10	47,05	90,19	136,30	158,57
11	48,06	92,12	139,22	161,97
12	49,00	93,92	141,94	165,13
13	49,88	95,61	144,49	168,10
14	50,70	97,20	146,89	170,89
15	51,49	98,70	149,16	173,53
16	52,23	100,13	151,32	176,04
17	52,94	101,48	153,37	178,43
18	53,62	102,78	155,33	180,71
19	54,27	104,02	157,21	182,89
20	54,89	105,22	159,01	184,99
21	55,49	106,37	160,74	187,01
22	56,06	107,47	162,42	188,95
23	56,62	108,54	164,03	190,83
24	57,16	109,57	165,59	192,64

Tabella 1 – Valori della funzione di possibilità pluviometrica per la zona 5 secondo assegnati tempi di ritorno.

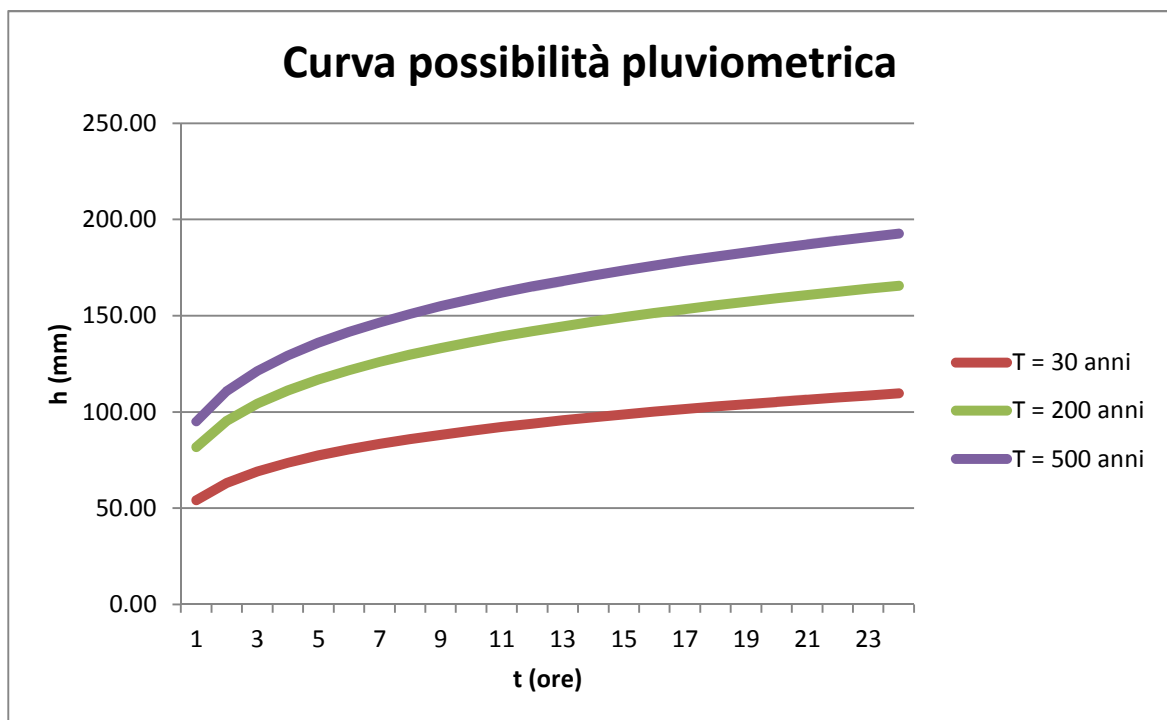


Figura 4 – Curve di possibilità pluviometrica secondo assegnati tempi di ritorno.

I valori di precipitazione calcolati non sono direttamente riferibili a tempi inferiori all'ora, i cui eventi vengono definiti "brevi". Gli eventi brevi a quelli lunghi seguono differenti dinamiche meteorologiche pertanto dai campioni di altezza h_t aventi durata $1-2 < t \leq 24$ non può essere tratta alcuna informazione inerente gli eventi brevi. In altri termini, la curva di probabilità pluviometrica costruita con riferimento alle piogge aventi durata compresa tra 1 e 24 ore, non può essere estrapolata per valori di durata t inferiori a un'ora. Per fare questo, si applicano alcuni coefficienti correttivi presenti in letteratura.

5.2 Teoria del Modello Idrologico Utilizzato

Lo scopo dell'analisi idrologica è la determinazione delle portate di progetto di assegnato tempo di ritorno da impiegare come dati di ingresso per la successiva fase di modellazione idraulica delle aste fluviali di interesse, al fine di verificare il grado di pericolosità idraulica a cui sono soggette le aree urbane limitrofe ai corsi d'acqua a causa di fenomeni di tracimazione delle sommità spondali.

La stima degli idrogrammi di progetto associati ai diversi tempi di ritorno per i bacini idrografici in esame è stata eseguita mediante una modellistica idrologica afflussi-deflussi di tipo semidistribuito e considerando valida l'ipotesi che la portata defluente associata ad uno specifico tempo di ritorno sia determinata da una sollecitazione meteorica di pari probabilità di accadimento. In particolare, la trasformazione afflussi-deflussi, a meno del deflusso di base ritenuto trascurabile, viene descritta da un approccio idrologico costituito da tre componenti in serie: un modello di infiltrazione basato sul metodo SCS-CN (Soil Conservation Service, 1986), due modelli di formazione della piena basati sull'idrogramma unitario istantaneo (IUH) adimensionale e sul metodo cinematico ed, infine, il modello di Muskingum-Cunge (Cunge, 1969) per il trasferimento dell'onda di piena lungo i corsi d'acqua.

L'utilizzo di una modellistica afflussi-deflussi è infatti l'approccio più applicato in assenza di dati relativi a misure di portata e si basa sulla stima delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica e quindi delle precipitazioni che costituiscono i dati di ingresso per il modello idrologico.

5. Analisi Idrologica

I passi per determinare l'idrogramma di piena di progetto per ogni assegnato tempo di ritorno sono:

- stima delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (L.S.P.P.);
- ragguglio all'area delle L.S.P.P.;
- determinazione dello ietogramma di progetto: scelta della durata critica dell'evento (e della distribuzione temporale delle precipitazioni);
- stima della pioggia effettiva;
- stima della portata di progetto.

Di seguito verranno analizzati i seguenti elementi:

- **Definizione degli afflussi meteorici:** determinazione della relazione tra altezze e durata di pioggia di assegnato tempo di ritorno per i bacini idrografici in esame (L.S.P.P.) e operazione di ragguglio all'area;
- **Determinazione dello ietogramma di progetto:** scelta della durata critica dell'evento e della distribuzione temporale delle precipitazioni;
- **Stima delle perdite idrologiche:** determinazione della quantità di precipitazione trattenuta dal terreno (perdite), con la conseguente determinazione della pioggia effettiva (o pioggia netta) che rappresenta il volume d'acqua che raggiunge per ruscellamento superficiale la rete di drenaggio fino alla sezione di chiusura, determinando l'evento di piena;
- **Trasformazione afflussi-deflussi:** schematizzazione della risposta del singolo bacino idrografico alle sollecitazioni meteoriche, in funzione delle proprie caratteristiche fisiografiche e combinazione di tale risposta con la pioggia netta per stimare gli idrogrammi di piena.
- **Propagazione delle onde di piena:** modellazione del fenomeno di trasferimento dell'onda di piena lungo il corso d'acqua.

5.3 Definizione degli Afflussi Meteorici

Il primo elemento fondamentale nella creazione di un modello idrologico è costituito dalla stima degli afflussi. Per la simulazione di singoli eventi di piena (come nel caso del presente studio), è sufficiente considerare gli afflussi meteorici, trascurando quelli sotterranei.

Lo studio statistico delle piogge intense in un punto della superficie terrestre si sintetizza nella formulazione delle Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica (L.S.P.P.), ottenute dalla funzione della curva pluviometrica per la Zona 5 della Regione Puglia.

Le L.S.P.P. descrivono le proprietà statistiche degli eventi di pioggia intensa a scala puntuale ed esprimono un legame tra altezza di pioggia-durata-frequenza. In particolare, per un prefissato tempo di ritorno, la corrispondente L.S.P.P. fornisce la relazione tra la durata della pioggia e la relativa altezza di precipitazione. In via di principio è possibile ricavare le linee segnalatrici relative alla pioggia media areale.

5.4 Determinazione dello Ietogramma di Progetto

La determinazione dello ietogramma di progetto per un prefissato tempo di ritorno richiede l'individuazione della durata dello ietogramma (durata critica) nonché della distribuzione temporale degli spessori di pioggia stimati dalla corrispondente linea segnalatrice di possibilità pluviometrica areale.

E' possibile determinare la durata critica utilizzando diverse metodologie in funzione della modellistica afflussi-deflussi impiegata. In particolare, nel caso dei metodi empirici tradizionali che si basano sul metodo razionale tale durata è data dal tempo di corrivazione del bacino, mentre nel caso di uso di modelli idrologici in grado di descrivere la trasformazione afflussi-deflussi, essa può essere stimata mediante un insieme di simulazioni. Nel presente studio è stato seguito il secondo approccio.

In particolare, sulla base del concetto di *evento critico*, la determinazione della durata critica mediante simulazione idrologica consiste nell'effettuare un insieme di simulazioni con un modello afflussi-deflussi avente in ingresso i dati di una serie di ietogrammi di pioggia di durata crescente, ottenuti distribuendo in modo uniforme nel

5. Analisi Idrologica

tempo lo spessore di pioggia ricavato dalla LSPP areale relativa ad un determinato tempo di ritorno. All'aumentare della durata dell'evento, si ottengono idrogrammi di piena il cui picco assume valori crescenti fino ad un valore massimo, per poi decrescere. La durata dell'evento che corrisponde all'idrogramma con il massimo valore della portata di picco viene assunta come durata critica.

Nota la pioggia areale, per la determinazione del deflusso diretto è necessario valutare la pioggia effettiva e, quindi, la quantità di pioggia che viene assorbita dal suolo e quella intercettata dalla vegetazione, mentre la quantità di pioggia persa per evapotraspirazione è trascurabile per eventi meteorici particolarmente intensi (Maione, 1977). Per effettuare tale stima, è stato applicato il metodo del Curve Number proposto dal Soil Conservation Service (1972).

5.5 Il Metodo SCS-CN

Il modello di piena è stato realizzato considerando la formazione del deflusso e la propagazione dello stesso lungo il reticolo idrografico. Per quanto riguarda la formazione del deflusso nel presente lavoro è stato utilizzato il metodo **CN-SCS** sviluppato dal *Soil Conservation Service* americano che consente la ricostruzione delle piene in bacini idrografici di superficie non superiori a 15-20 Km² consentendo di determinare sia il volume di piena o della sua portata al colmo che la ricostruzione dell'idrogramma di piena.

Per la determinazione del volume di piena il metodo si fonda sull'ipotesi che sia sempre valida (con tutte le grandezze espresse in mm) la relazione seguente:

$$\frac{V}{P_n} = \frac{W}{S} \quad (5.5.1)$$

Con:

V= Volume di deflusso;

P_n= Precipitazione netta;

W= Invaso del suolo;

S= Valore massimo dell'invaso.

5. Analisi Idrologica

La precipitazione netta si ottiene sottraendo alla precipitazione totale P le perdite iniziali I_a dovute all'immagazzinamento superficiale, imputabili per esempio, alla presenza sulla superficie del bacino di zone che, per la loro morfologia, consentono l'accumulo di volumi idrici, all'intercettazione operata dalla copertura vegetale presente e all'infiltrazione prima della formazione del deflusso. La precipitazione netta si ripartisce completamente tra il volume di deflusso superficiale e l'invaso del suolo:

$$P_n = V + W \quad (5.5.2)$$

Sostituendo il valore di W ricavato dalla (4.5.2) nella (4.5.1), si ottiene:

$$P = \frac{Pn^2}{Pn + S} \quad (5.5.3)$$

Poiché le perdite iniziali possono essere correlate all'invaso massimo del suolo:

$$I_a = 0,2 * S \quad (5.5.4)$$

e tenendo conto che $P_n = P - I_a$, dalla (4.5.3) si ottiene:

$$V = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{P + 0,8 * S} \quad (5.5.5)$$

Il valore di P (precipitazione totale) viene calcolata attraverso le curve di probabilità pluviometrica (L.S.P.P.) mentre la valutazione di S viene condotta mediante la seguente relazione:

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (5.5.6)$$

in cui figura un parametro CN , denominato "curve number", che assume valori compresi tra 100 e 0. Il CN rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso e si stima, sulla base dei valori riportati in un apposita tabella (Tabella 2), in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli e di uso e/o copertura vegetale presenti nel bacino.

5. Analisi Idrologica

La stima del CN presuppone, inizialmente, la determinazione del gruppo idrologico (Tabella 3) di ciascun suolo ricadente nel bacino e, all'interno di ciascun gruppo, l'individuazione di aree omogenee per destinazione d'uso, sistemazione e condizione idrica. A ciascuna area omogenea, di nota superficie, viene attribuito l'appropriato CN sulla base di quelli riportati nella Tabella 2; il valore di CN_b dell'intero bacino si ottiene come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per le singole aree omogenee.

Il metodo tiene conto anche delle condizioni di umidità del suolo antecedenti all'inizio dell'evento (*Antecedent Moisture Conditions, A.M.C.*) e a tal fine va precisato che i valori di CN riportati nella Tabella 2 si riferiscono a condizioni medie del parametro A.M.C. denominate A.M.C. II. La definizione di A.M.C. richiede la determinazione della precipitazione totale caduta nei cinque giorni precedenti l'evento in esame che, sulla base della Tabella 4, consente di definire la condizione di umidità antecedente l'evento (A.M.C. I, A.M.C. II e A.M.C. III). Nel caso in cui si ricada nella condizione A.M.C. I (secca) o in quella A.M.C. III (umida) i valori di CN della Tabella 2 devono essere corretti utilizzando i fattori (FI) e (FIII), rispettivamente per la condizione secca e per quella umida, aventi le seguenti espressioni:

- $(FI) = 0,3 + 0,00636 \text{ CN}$
- $(FIII) = 3,4212 - 1,1999 \log \text{ CN}$

Destinazione	Sistemazione	Condizione idrica	A	B	C	D
Incolto			77	86	91	94
Coltivazioni in filari	Rittocchino	Povera	72	81	88	91
		Buona	67	78	85	89
	Girapoggio	Povera	70	79	84	88
		Buona	65	75	82	86
	Terrazzo	Povera	66	74	80	82
		Buona	62	71	78	81
Cereali da granella	Rittocchino	Povera	65	76	84	88

5. *Analisi Idrologica*

		Buona	63	75	83	87
	Girapoggio	Povera	63	74	82	85
		Buona	61	73	81	84
	Terrazzo	Povera	61	72	79	82
		Buona	59	70	78	81
Prati di leguminose o a rotazione	Rittocchino	Povera	66	77	85	89
		Buona	58	72	81	85
	Girapoggio	Povera	64	75	83	85
		Buona	55	69	78	83
	Terrazzo	Povera	63	73	80	83
		Buona	51	67	76	80
Prato permanente		Buona	30	58	71	78
Boschi		Povera	45	66	77	83
		Discreta	36	60	73	79
		Buona	25	55	70	77
Strade sterrate			74	84	90	92
Superfici impermeabili e superfici d'acqua			100	100	100	100

Tabella 2 – Valori del CN in funzione delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale e per condizioni medie di umidità antecedenti l'evento (A.M.C. II).

Gruppo	Descrizione
Gruppo A	Bassa capacità di formazione del deflusso. Suoli con elevata infiltrabilità anche in condizioni di completa saturazione. Si tratta di sabbie o ghiaie profonde molto ben drenate. La conducibilità idraulica alla saturazione è elevata.
Gruppo B	Suoli con modesta infiltrabilità se saturi. Discretamente drenati e profondi sono caratterizzati da una tessitura medio-grossolana e da una conducibilità idraulica non molto elevata.
Gruppo C	Suoli con bassa infiltrabilità se saturi. Sono per lo più suoli con uno strato che impedisce il movimento dell'acqua verso il basso (a drenaggio impedito) oppure suoli con tessitura medio-fine e bassa infiltrabilità. La conducibilità idraulica è bassa.
Gruppo D	Suoli a elevata capacità di formazione del flusso. Appartengono a questo gruppo i suoli ricchi di argilla con capacità rigonfianti, i suoli con uno strato di argilla presso la superficie, i suoli poco profondi su substrati impermeabili. La conducibilità idrica è estremamente bassa.

Tabella 3 – Gruppi idrologici per la stima del CN.

Periodo vegetativo	Riposo vegetativo	A.M.C.
Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento minore di 35 mm	Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento minore di 13 mm	I
Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento tra 35 e 53 mm	Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento tra 13 e 28 mm	II
Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento maggiore di 53 mm	Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento maggiore di 28 mm	III

Tabella 4 – Definizione delle condizioni di umidità antecedenti l'evento (A.M.C.).

Nel presente lavoro si è scelto di utilizzare il parametro *CN*, relativo a condizioni iniziali umide (A.M.C. III) in via puramente cautelativa, inoltre i terreni ricadenti nei bacini oggetto di studio sono stati considerati ricadenti nel Gruppo Idrologico C.

5.6 Idrogramma Unitario del Soil Conservation Service (IUH-SCS)

L'idrogramma SCS è un idrogramma adimensionale definito dal SCS in base all'analisi di idrogrammi di piena in uscita dalla sezione di chiusura di numerosi bacini idrografici strumentati, di dimensioni grandi e piccole. Esso ha un vasto campo di applicazioni pratiche nel campo delle trasformazioni afflussi deflussi per la sua semplicità d'uso e per la sua generalità.

Questo IUH presenta il 37.5% del suo volume prima dell'istante di picco; inoltre, i valori della portata di picco e dell'istante T_p sono stati ricavati adottando un modello semplificato di idrogramma triangolare di base $2.67 T_p$ (**Figura 5**). Per la definizione dell'idrogramma unitario adimensionale del SCS per è necessario specificare il tempo di ritardo T_i del bacino idrografico, che può essere valutato separatamente mediante

relazioni empiriche valide per l'area in esame oppure, in assenza di esse, a partire dal tempo di corrivazione secondo la relazione:

$$T_l = \frac{3}{5} T_c \tag{5.6.1}$$

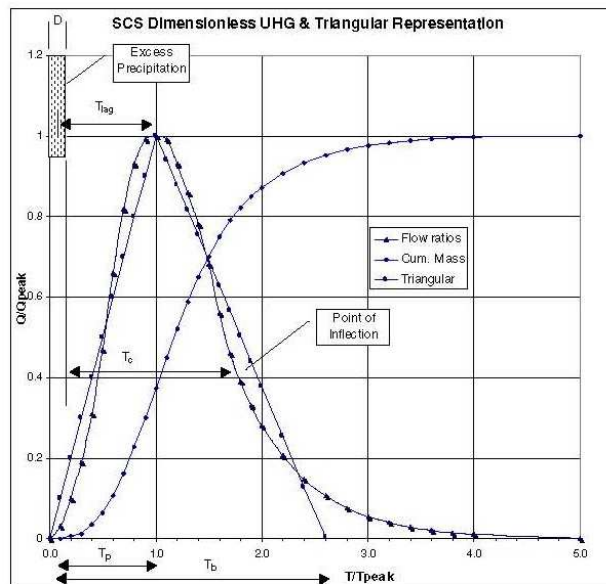


Figura 5 – IUH – Soil Conservation Service.

5.7 Propagazione Onda di Piena: Metodo di Muskingum-Cunge

Il metodo di Muskingum-Cunge è basato sull'equazione di continuità e sull'approssimazione parabolica delle equazioni complete di De Saint Venant. Cunge (1969) dimostrò che quando K e Δt sono assunti come costanti, rappresentano un'approssimazione dell'equazione dell'onda cinematica, ed in particolare dell'equazione di diffusione del momento. Definita c la celerità di traslazione dell'onda corrispondente a Q e B ($c = dQ/dA = dx/dt$) dove B è la larghezza dell'alveo in superficie ed A l'area della sezione liquida considerata.

I coefficienti del metodo di Muskingum vengono calcolati in base alle caratteristiche del corso d'acqua mediante le relazioni:

$$K = \frac{\Delta x}{c}; \quad X = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{Q}{B S_0 c \Delta x} \right)$$

in cui Δx è l'intervallo di discretizzazione spaziale, Δt il passo temporale di calcolo e S_0 la pendenza di fondo.

5.8 Modellazione Idrologica

La modellistica idrologica si prefigge di creare modelli matematici di tipo afflussi-deflussi, capaci di riprodurre l'andamento della portata in una o più sezioni del reticolo idrografico di un bacino, in funzione della distribuzione sia spaziale che temporale delle piogge. In letteratura sono descritti differenti tipi di modelli idrologici, che possono essere classificati in funzione della complessità della trattazione del problema (Maione, 1977). Tra questi, i più appropriati per gli scopi del presente studio sono i cosiddetti modelli di piena di tipo concettuale che utilizzano rappresentazioni semplificate dei processi fisici in gioco, che vengono comunque esplicitamente presi in considerazione. Inoltre, tali modelli incorporano parametri che sono fisicamente basati riducendo così l'arbitrarietà in fase di calibrazione del modello stesso. In particolare, essi rappresentano con semplicità le perdite, mentre cercano di descrivere in modo più dettagliato la trasformazione della pioggia netta in portata diretta. Quest'ultima viene assunta pari alla portata totale, poiché in eventi salienti di piena il deflusso di base è tipicamente trascurabile.

Possono essere sviluppati modelli aventi diversi gradi di complessità, da particolarmente semplici a molto dettagliati; tuttavia, per scopi di tipo ingegneristico, è consigliabile l'uso di modelli che rispondano ad alcune particolari esigenze, quali:

- la dipendenza da un numero limitato di parametri, che ne consenta il controllo in fase di calibrazione;
- la semplicità di schematizzazione dei processi fisici, che permetta un'agevole implementazione;
- la sensibilità sufficientemente limitata alla variabilità dei parametri stessi.

I **modelli semi-distribuiti** consentono di soddisfare l'esigenza di impiegare un numero limitato di parametri che ne permetta il controllo in fase di calibrazione e nello stesso tempo utilizzano l'informazione geomorfologica distribuita, la variabilità spaziale

5. *Analisi Idrologica*

delle piogge e delle caratteristiche del suolo, che costituiscono gli aspetti fondamentali nell'analisi della risposta idrologica a scala di bacino. I modelli semi-distribuiti si possono, quindi, considerare come una valida alternativa sia ai modelli a parametri concentrati che incorporano un numero ridotto di parametri a scapito della descrizione dei processi fisici, sia ai modelli distribuiti che, pur effettuando una schematizzazione dettagliata dei fenomeni, restano vincolati a troppi parametri. La scelta è stata quindi dettata dalla necessità di utilizzare un numero limitato di parametri, da stimare attraverso pochi eventi di piena deducibili da bacini "simili" appartenenti alla stessa area geografica, e che sia in grado di fornire gli idrogrammi di piena in qualsiasi sezione del tratto fluviale investigato.

Nel presente studio è stato utilizzato un modello idrologico di tipo concettuale e semidistribuito, implementato mediante il software americano HEC-HMS. La **Figura 6** illustra in maniera schematica e concettuale gli elementi del modello e le loro connessioni per il j-esimo segmento fluviale.

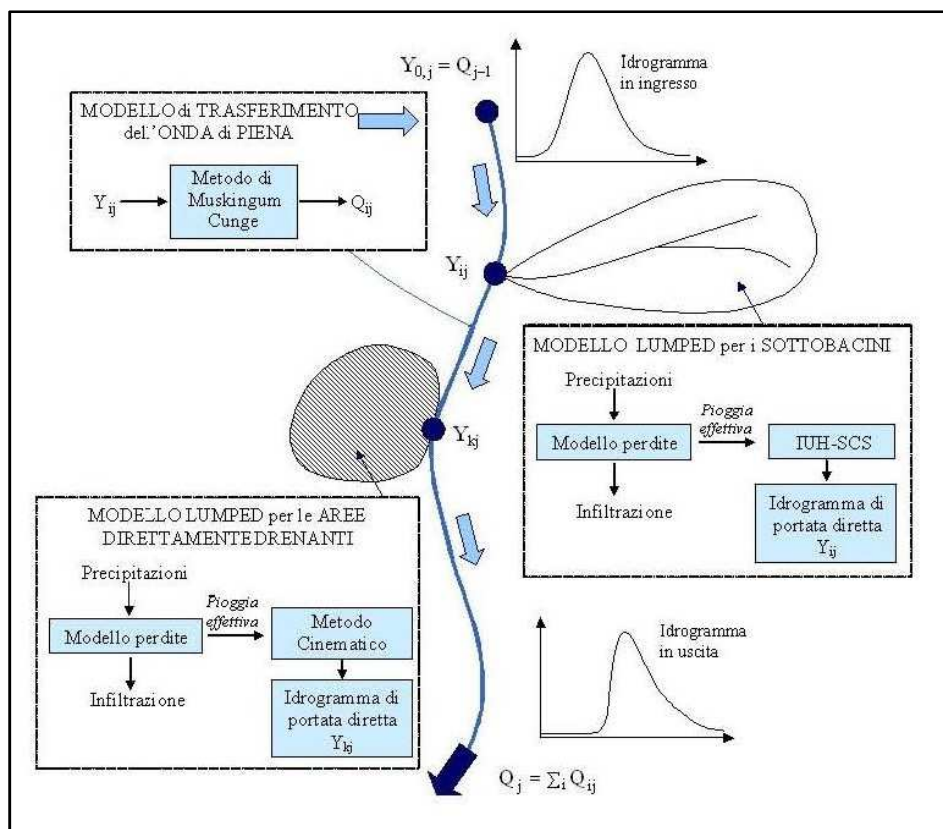


Figura 6 – Diagramma schematico degli elementi del modello idrologico e delle loro connessioni.

5. Analisi Idrologica

Le caratteristiche dei bacini per le analisi idrologiche sono state estratte dal D.E.M. (S.I.T. - Regione Puglia) e dai dati G.I.S. di litologia ed uso del suolo, per ottenere la carta del CN (Curve Number) delle aree di drenaggio.

Il modello idrologico scelto è in sintesi un **modello di simulazione dell'evento critico** avente le seguenti caratteristiche:

- dati di pioggia da L.S.P.P.;
- durata critica determinata con procedimento iterativo in modo da massimizzare il valore della portata al colmo;
- riduzione del tasso di pioggia in base alla superficie del bacino sotteso e della durata dello scroscio secondo la formulazione di Raudkivi (1970);
- ietogramma costante;
- stima dell'infiltrazione mediante metodo SCS-CN assumendo il valore CN (III) relativo allo stato iniziale di bacino fortemente imbibito;
- IUH del SCS con tempo di ritardo (*Lag time*) valutato mediante la formula di Mokus:

$$t_L = 0,342 \frac{L^{0,8}}{s^{0,5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}$$

Dove: L = lunghezza dell'asta principale prolungata fino al displuvio (Km);

s = pendenza media del bacino (%);

CN = *Curve Number*.

Calcolato il tempo di ritardo (t_L), si è potuto calcolare il tempo di corrivazione (t_c) pari a:

$$t_c = \frac{t_L}{0,6}$$

Il tempo di corrivazione (t_c) è il tempo che impiega una goccia di pioggia che cade nel punto idraulicamente più distante per raggiungere la sezione di chiusura del bacino. La definizione del tempo di corrivazione consente di spiegare perché la piena si



5. Analisi Idrologica

verifica proprio se l'evento meteorico ha una durata almeno pari al tempo di corrivazione dato che, in questo caso, tutta la superficie scolante contribuisce ai fini del deflusso superficiale.

6 ANALISI IDRAULICA

6.1 *Modello Idraulico Utilizzato*

La modellazione dei fenomeni di allagamento e di transito sono state eseguite utilizzando il software di calcolo americano HEC-RAS del U.S. Army Corps of Engineers (USACE). In particolare, la modellazione idraulica è stata eseguita secondo uno schema monodimensionale in moto permanente mediante HEC-RAS 4.1.0. Le leggi di riempimento di ciascun settore (relazioni quota-volume immagazzinato) sono ottenute a partire dal modello digitale del terreno (D.T.M.) reso disponibile dal Sistema Informativo Territoriale della Regione Puglia.

Il programma integra le equazioni di Saint Venant tramite lo schema implicito alle differenze finite di Preismann e Cunge. Si forniscono di seguito alcuni aspetti concettuali, rimandando, per una completa descrizione del codice di calcolo, alla documentazione tecnica fornita a corredo del programma e consultabile on line.

6.2 *Moto Permanente*

In moto permanente, HEC-RAS risolve il problema della individuazione del livello del pelo libero della corrente in una assegnata sezione nelle seguenti ipotesi di base:

- moto gradualmente variato;
- flusso monodimensionale.

6. Analisi Idraulica

Sezioni particolari in cui non risulti localmente valida l'ipotesi di graduale variazione del moto (ponti, traverse, etc.) vengono tuttavia modellate attraverso l'adozione di formulazioni empiriche o integrali. L'unità elementare del sistema fisico, composta da un volume idrico di controllo posto tra due generiche sezioni trasversali del corso d'acqua, schematicamente riportata in **Figura 7**, è governata dal principio della conservazione dell'energia, assunto descrivibile tramite le seguenti due equazioni semplificate:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 + V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 + V_1^2}{2g} + h_e \quad (6.1.1)$$

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 + V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 + V_1^2}{2g} \right| \quad (6.1.2)$$

dove:

- i pedici 1 e 2 indicano le corrispondenti sezioni;
- WS_2 e WS_1 livelli del pelo libero alle estremità del tratto [m];
- V_2^2 e V_1^2 velocità quadratiche medie [m^2/s^2];
- α_2 e α_1 coefficienti ponderali dei termini cinetici;
- g accelerazione di gravità [m/s^2];
- h_e perdite di carico totali [m];
- L distanza media pesata sulle portate tra le due sezioni [m], i.e.

$$L = \frac{L_{lo} \cdot \overline{Q_{lo}} + L_{mch} \cdot \overline{Q_{mch}} + L_{ro} \cdot \overline{Q_{ro}}}{\overline{Q_{lo}} + \overline{Q_{mch}} + \overline{Q_{ro}}}$$

- $\overline{Q_{ij}}$ portata media nel tratto elementare nelle golene o nel canale [m^3/s];
- \bar{S}_f gradiente medio delle perdite di carico per attrito [m/m];
- C coefficiente di dissipazione energetica per espansione o contrazione.

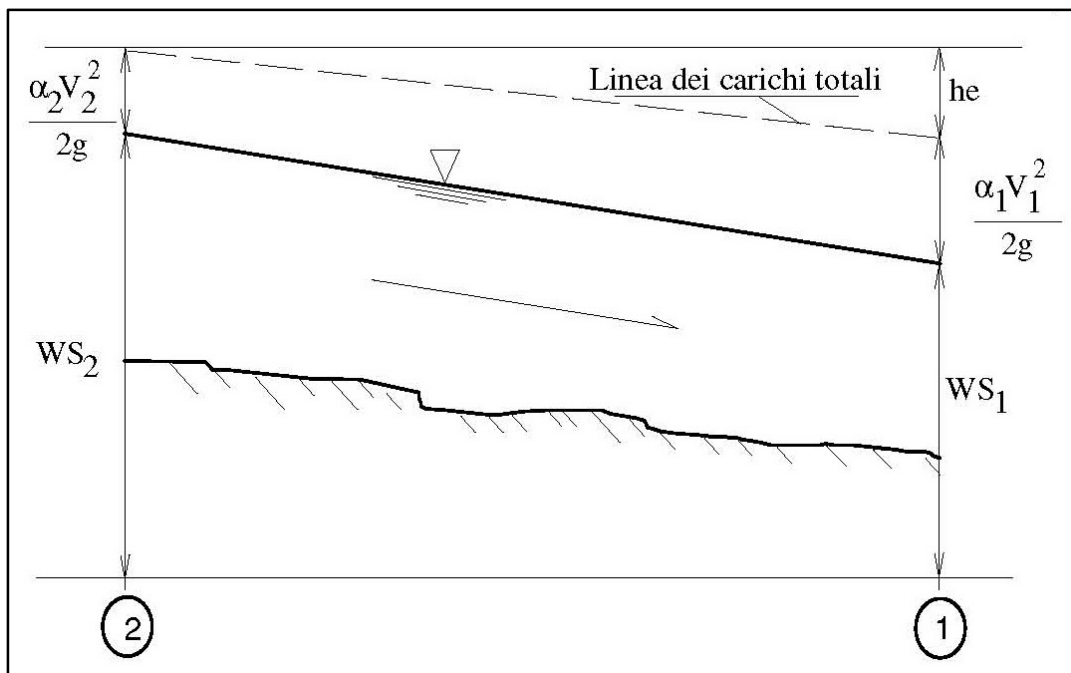


Figura 7 – Rappresentazione in termini energetici dell'equilibrio di volume idrico elementare.

La sezione di deflusso è supposta suddivisibile in tre ambiti primari in cui risulta applicabile l'ipotesi di distribuzione uniforme delle velocità, i.e. l'alveo principale e due zone golenali. I termini di perdita di carico media per ciascun tratto elementare, sia concentrata (α) sia distribuita (S_f), vengono calcolati utilizzando la seguente definizione della capacità di deflusso (portata per unità di pendenza motrice^{1/2}), indipendentemente per ciascun ambito della sezione (si omettono per brevità i pedici):

$$K = \frac{A \cdot R^{2/3}}{n} \quad (6.1.3)$$

dove:

- K capacità di deflusso nell'ambito [m^3/s];
- n coefficiente di scabrezza di Manning [$s/m^{1/3}$];
- R raggio idraulico dell'ambito [m];
- A area della sezione bagnata dell'ambito [m^2].

In funzione del regime della corrente vengono utilizzate diverse stime del gradiente di carico per attrito medio sul tratto (media aritmetica, geometrica, armonica, ..). In

6. Analisi Idraulica

particolare, per i profili di corrente lenta è stato prevalentemente utilizzata la media semplice ponderata sulla capacità di deflusso:

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad (6.1.4)$$

Per i carichi cinetici vale invece la seguente espressione (il pedice t indica la totalità della sezione):

$$\alpha = \frac{A_t^2 * \left[\frac{K_{lb}^3}{A_{lb}^2} + \frac{K_{mch}^3}{A_{mch}^2} + \frac{K_{rb}^3}{A_{rb}^2} \right]}{K_t^3} \quad (6.1.5)$$

I coefficienti di contrazione C sono stati assunti generalmente pari a $0,1 \div 0,3$ per le sezioni a variazioni ordinarie, per le contrazioni e le espansioni, rispettivamente. Le scabrezze equivalenti sono computate per media pesata su perimetro bagnato, sia per quelle di ambito che di intera sezione di deflusso. Le transizioni attraverso lo stato critico della corrente, nel caso dei risalti idraulici e del passaggio attraverso ponti, vengono assunte governate dall'equazione semplificata della quantità di moto applicata al tratto elementare di canale (X è la direzione di deflusso, 1 e 2 sono le sezioni di estremità):

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x \quad (6.1.6)$$

dove:

- P_1 forza idrostatica [N];
- W_x forza peso della massa idrica compresa nel tratto [N];
- F_f forza di attrito complessivamente agente sul tratto [N];
- Q portata in transito [m^3/s];
- ρ densità dell'acqua [Ns^2/m^4];
- ΔV_x variazione di velocità media tra le sezioni, in direzione X [m/s].

Gli sforzi tangenziali sul perimetro bagnato vengono calcolati secondo la formulazione di moto uniforme e la quantità di moto corretta con coefficienti empirici di letteratura.

6. Analisi Idraulica

Gli elementi geometrici principali da inserire nel modello idraulico sono le *sezioni ordinarie*, quelle cioè in cui non è presente un manufatto che interferisca con la corrente alterandone "localmente" ed in maniera significativa lo stato energetico (ad es. ponti, traverse, salti di fondo, tombini, bruschi restringimenti, etc.). I principali attributi delle sezioni ordinarie sono:

- limiti del canale principale;
- scabrezza;
- argini;
- limiti delle aree "inefficaci".

Per quanto riguarda i manufatti trasversali, invece, le sezioni che complessivamente caratterizzano ogni struttura sono 4. Le numero 2 e 3 rappresentate in **Figura 8** definiscono le sezioni di monte e valle sul ponte, mentre le 1 e 4 individuano i limiti di perturbazione locale indotti dal manufatto per effetto della riduzione della sezione di deflusso e/o delle perdite di carico concentrate. Quest'ultime vanno poste ad una distanza dalla struttura tale che il flusso non risenta della presenza della struttura stessa; ciò dovrebbe essere determinato attraverso una indagine sul campo durante gli eventi di piena. Stante l'impossibilità di procedere nella maggioranza dei casi a tale indagine diretta, generalmente si fa ricorso al criterio di porre la sezione trasversale di monte n.4 ad una distanza pari a circa una volta la larghezza media della costrizione laterale causata dalle spalle del ponte, mentre la sezione trasversale n.1 è posta ad una distanza leggermente maggiore e ricavabile empiricamente in funzione del restringimento di sezione, della pendenza del corso d'acqua e delle scabrezze del canale e delle golene (vedi tabella 5.1 Hydraulic Reference Manual di HEC-RAS). Le perdite di carico in prossimità dei ponti sono costituite da due componenti: quella delle perdite di carico immediatamente a valle [monte] della struttura per effetto dell'allargamento [restringimento] della sezione, e quella delle perdite di carico che si realizzano per effetto della struttura stessa. Quest'ultima comprende sia le normali perdite per attrito che quelle specifiche dovute ad eventuali pile in alveo. Il deflusso attraverso il ponte può avvenire a pelo libero, in pressione, a stramazzo per sormonto dell'impalcato o in condizioni ibride tra le precedenti. Ciascun regime viene modellato adottando specifiche equazioni. Le

transizioni attraverso le possibili condizioni di moto, in relazione alla portata e all'energia totale della corrente, sono schematicamente descritte in **Figura 9**.

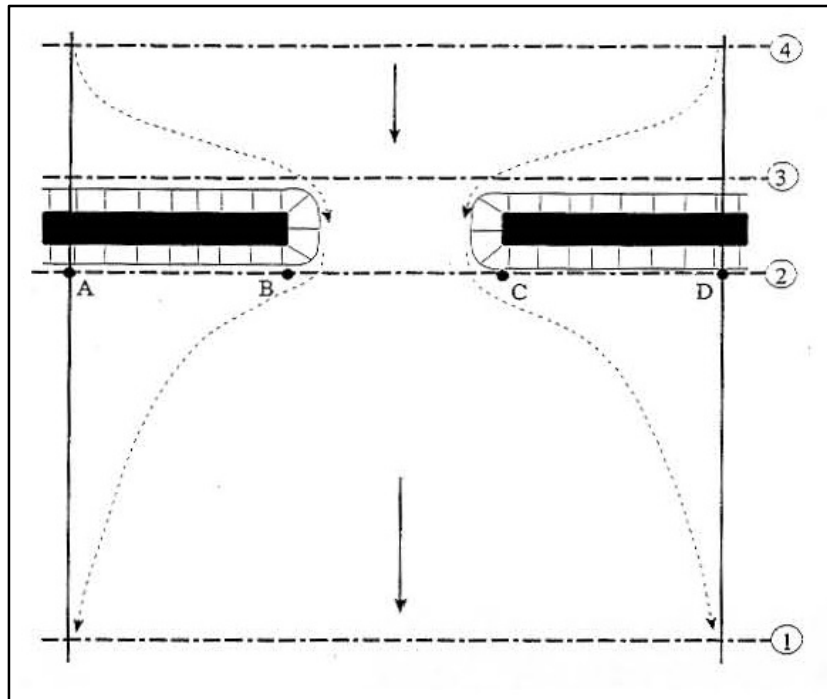


Figura 8 – Schema della discretizzazione longitudinale nell'intorno di un ponte.

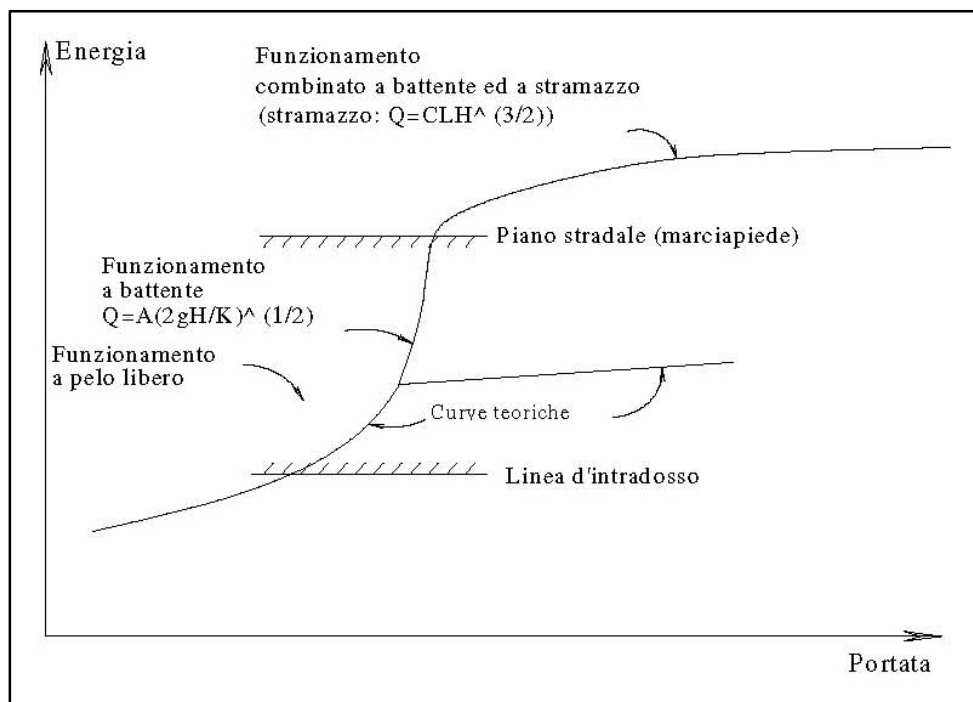


Figura 9 – Andamento della portata in presenza di un ponte al crescere del carico totale a monte.

6.3 Moto Variato

In **moto variato**, invece, le equazioni di continuità e del moto utilizzate da HEC-RAS assumono rispettivamente la seguente espressione:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial \phi Q}{\partial x_c} + \frac{\partial [(1-\phi)Q]}{\partial x_f} = 0 \quad (6.1.7)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{\phi^2 * Q^2}{A_c} \right)}{\partial x_c} + \frac{\partial \left[\frac{(1-\phi)^2 * Q^2}{A_f} \right]}{\partial x_f} + g A_c \left[\frac{\partial Z}{\partial x_c} + S_{fc} \right] + g A_f \left[\frac{\partial Z}{\partial x_f} + S_{ff} \right] = 0 \quad (6.1.8)$$

in cui:

$$Q_c = \phi * Q$$

$$\phi = \frac{K_c}{K_c + K_f}$$

ed i pedici *c* ed *f* si riferiscono rispettivamente al *main channel* ed alle *floodplains* (**Figura 10**).

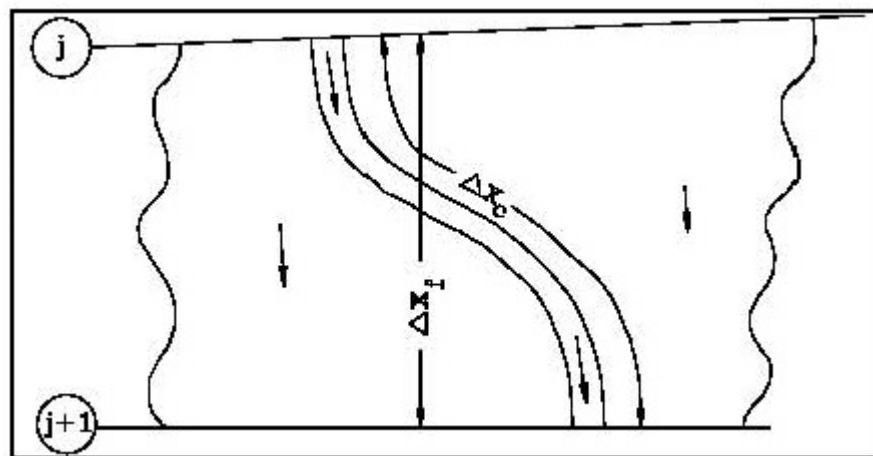


Figura 10 – Distanze misurate lungo il main channel e le floodplains.

HEC-RAS utilizza generalmente il modello completo delle equazioni di De Saint Venant. La soluzione numerica di tali equazioni in regime di corrente lenta è basata su un metodo alle differenze finite di tipo implicito a quattro punti, noto in letteratura come *box scheme*. Dalla discretizzazione alle differenze finite delle equazioni del moto applicate ad un tratto di corso d'acqua e dall'applicazione delle condizioni al contorno, risulta un

6. Analisi Idraulica

sistema lineare di N equazioni in N incognite, con N pari a 2 volte il numero di sezioni in cui è stato suddiviso il corso d'acqua meno le sezioni in cui sono state assegnate le condizioni al contorno. Tale sistema deve essere risolto ad ogni successivo istante di calcolo. Il sistema di equazioni lineari viene risolto con metodo iterativo, utilizzando l'algoritmo skyline specificatamente pensato per la soluzione dei problemi di moto vario nelle reti a pelo libero. Nel caso di corrente mista lenta o veloce HEC-RAS utilizza la tecnica local partial inertia (L.P.I.), per cui si passa gradualmente dalla soluzione delle equazioni complete del moto alla soluzione del modello parabolico delle equazioni del moto vario. Il modello parabolico viene applicato dal programma soltanto nei tratti di corso d'acqua in cui si ha un numero di Froude maggiore di un valore di soglia definibile dall'utente. Il modello matematico riesce così a garantire una maggiore stabilità di calcolo anche nei tratti interessati da corrente veloce o mista, pur mantenendo un'adeguata accuratezza di calcolo. In particolare, con l'algoritmo LPI, al tendere del numero di Froude ad 1 si applica un coefficiente riduttivo ai termini di inerzia locale e convettiva delle equazioni del moto. Le equazioni del moto vengono così modificate nella forma seguente:

$$\sigma \left[\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \frac{\beta Q^2}{A}}{\partial x} \right] + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (61.9)$$

dove:

- $\sigma = F_T - F_r^m$ se $F_r \leq F_t$
- $\sigma = 0$ se $F_r > F_t$

con:

- σ coefficiente LPI che moltiplica i termini inerziali dell'equazione del moto;
- F_T numero di Froude di soglia per cui $\sigma=0$. (Tra 1 e 2, default = 1);
- F_r numero di Froude;
- m esponente dell'equazione che fornisce il valore di σ (tra 1 e 128, default = 10);

6. Analisi Idraulica

h quota della superficie del pelo libero;

S_f pendenza della linea dell'energia.

Quando il numero di Froude è maggiore del valore di soglia F_T , il coefficiente σ assume valore 0. E' possibile variare sia il valore di F_T che dell'esponente m . Al crescere del valore sia di F_T che di m diminuisce la stabilità del calcolo, ma ne aumenta l'accuratezza.

7 PROGETTO "RAINFALL"

Il progetto "Rainfall" nasce dall'esigenza di definire oltre quali limiti le aree del nostro territorio siano esposte a rischio idrogeologico e al relativo danno associato. E' un progetto basato su fondamenti d'idrodinamica sperimentale testato durante gli studi universitari e per fini di Protezione Civile.

Fino ad oggi, infatti, le aree a soggette a rischio idrogeologico e pericolosità idraulica sono state cartografate ed individuate con metodi puramente qualitativi basati su aspetti geomorfologici e topografici del nostro territorio. E' ormai noto che, gran parte delle nostre campagne sono ormai abitate e costellate da aziende zootecniche e abitazioni rurali che, pian piano e a seguito di una normativa labile in materia di rischio idrogeologico e tutela del territorio soprattutto fino agli anni '80, hanno via via occupato interi letti di lame, canali naturali e, spesso, anche gravine.

I recenti accadimenti climatici e idrologici in atto alle nostre latitudini, hanno sottolineato, in modo evidente, la reale e quanto mai imprescindibile necessità, di dati oggettivi e quantitativi circa lo stato di fatto di aree urbanizzate e soggette a rischio idrogeologico.

La nostra Regione dispone di un'ampia banca dati idrologica, ma, di fatto, manca un'adeguata conoscenza del territorio urbanizzato. Non di rado, infatti, si

7. Progetto "Rainfall"

osservano abitazioni e/o infrastrutture ubicate all'interno di aree golenali e/o aree inondabili (lame). Nel corso degli anni, si è operato su una mera base qualitativa dei fenomeni naturali valutando la frequenza e l'intensità di questi in funzione della memoria storica dei residenti dell'area o, più semplicisticamente, sulla cartografia esistente e oramai obsoleta reperibile in bibliografia.

Il progetto "Rainfall" vuole essere una risposta concreta, puntuale e soprattutto quantitativa per individuare il potenziale danno atteso e per mettere in atto gli adempimenti tecnici utili a contrastarlo.

7.1 Obiettivi

Scopo del progetto "RAINFALL" è quello di valutare quantitativamente i fattori di pericolosità associati ad eventi di piovosità critica in territori con elevata presenza di lame o gravine.

Con questo progetto, ci si prefigge di calcolare, attraverso un approccio di ingegneria inversa, quale sia la pericolosità di flussi d'acqua che ciclicamente inondano i centri abitati e le aree rurali ubicate in prossimità di corsi d'acqua (lame) e/o in aree golenali. Scopo principale è quello di calcolare i parametri d'impatto (Pimp) sulle strutture e infrastrutture pre-esistenti al fine adeguarle strutturalmente e abbassare la Vulnerabilità dei beni esposti all'evento di un'area e, quindi, il Rischio associato.

S'intende, quindi, fornire un valido ed innovativo strumento di pianificazione territoriale, urbanistica e paesaggistica nonché finalità di Protezione Civile. Per ridurre il Rischio, infatti, bisogna agire sui fattori direttamente controllabili dall'uomo e, cioè, sulla vulnerabilità e sul valore esposto.

Sebbene, infatti, per la salvaguardia della popolazione è possibile attuare misure di emergenza atte all'evacuazione di intere aree a rischio, la stessa procedura non si può attuare (per ovvi motivi) per i beni immobili e le infrastrutture presenti sul territorio. La valutazione dei parametri quantitativi di un evento calamitoso fa sì che, ai cittadini evacuati, si possa assicurare un rapido rientro alle abitazioni e una rapida ripresa dell'attività produttiva qualora di tratti di aziende agricole. Tutto questo con una rapida

7. Progetto "Rainfall"

ripresa dell'attività sociale ed economica e la salvaguardia dei propri beni limitando i disagi e gli oneri a carico della Pubblica Amministrazione.

Uno dei parametri fisici che meglio sintetizza la pericolosità dei fluidi in movimento, è la Pressione Dinamica (P_d) esercitata su un ostacolo. Questa è funzione della componente orizzontale della velocità del flusso (V) e della densità dello stesso (ρ).

Le azioni di mitigazione del Rischio Idrogeologico, infatti, si possono attivare solo se sono note le modalità e l'entità del fenomeno connesso. Il calcolo dei parametri d'impatto dei flussi acquoso-fangosi su strutture e infrastrutture, permetterebbe di adeguare tecnicamente e strutturalmente i beni ormai esistenti in aree con moderata ed elevata pericolosità idraulica fornendo un validissimo supporto all'attività di pianificazione urbanistica e protezione civile.

7.2 Contesto Climatico, Geologico, Idrogeologico e Morfologico

L'area di applicazione del presente progetto è l'intero territorio comunale di Noci. Dopo aver individuato le aree soggette a pericolosità idraulica (lame), si opererebbe al fine di ricostruire, attraverso lo studio dei sedimenti della geomorfologia e dei volumi d'acqua piovana raccolti da un determinato bacino idrografico, i parametri d'impatto dei flussi sui beni insistenti in una determinata zona.

Dal punto di vista geologico, è definita "lama" un solco carsico poco profondo e ampio. Il territorio di Noci, così come gran parte del territorio murgiano, è estremamente ricco di lame e doline. Nel caso particolare delle lame presenti sul territorio di Noci, queste sfociano sia sul lato adriatico della Regione Puglia che su quello Ionico interessando un'area inusualmente ampia.

Ricordo che le lame sono a tutti gli effetti dei corsi d'acqua benché in secca per la maggior parte dell'anno. La loro importanza per quanto attiene il trasporto di sedimenti e di acqua è evidenziato soprattutto in concomitanza con eventi piovosi e calamitosi quando, da semplici alvei in secca, si trasformano in veri e propri torrenti in piena.

I modelli climatici degli ultimi anni mostrano come, in effetti, il clima alle nostre latitudini stia cambiando. Si verificano, infatti, fenomeni sempre più violenti e persistenti

7. Progetto "Rainfall"

con passaggi bruschi da clima secco a piovoso e/o sbalzi termici. Con queste "condizioni al contorno" conoscere il comportamento delle lame del nostro territorio è quanto mai fondamentale. In concomitanza di eventi calamitosi, inoltre, l'acqua piovana non ha il tempo necessario a penetrare nel substrato roccioso e tende ad alimentare i corsi d'acqua effimeri (per l'appunto le "lame").

Conoscere l'entità, quindi, dei fenomeni associati ad eventi calamitosi, è il primo passo per mettere in sicurezza gran parte del territorio comunale e consentire ai cittadini e alle Amministrazioni un rapido ritorno alla normalità pre-evento.

7.3 Modello Proposto

Il modello fluidodinamico alla base del progetto "Rainfall" è basato su modelli matematici che tengono conto dello spessore, densità e velocità del flusso in movimento.

Come accennato in precedenza, il punto cardine dell'intero progetto è il calcolo della Pressione dinamica del flusso sugli ostacoli posti lungo il suo percorso. Per calcolare questo parametro è necessario stimare i valori della densità (data dalla percentuale di pioggia che ricade all'interno di un certo bacino idrografico e dal carico solido che riesce a movimentare). A seconda della percentuale di particelle presenti nel flusso, si possono distinguere tre casi principali:

- CASO N. 1: flusso acquoso. Ha un carico solido (C) inferiore al 20% in peso e le caratteristiche fisiche del flusso sono dovute esclusivamente al fluido acquoso;
- CASO N. 2: flusso iperconcentrato. Il carico solido è intermedio ($20% < C < 80%$) e le caratteristiche fisiche del flusso sono date sia dalla componente fluida che da quella solida;
- CASO N. 3: debris flow. Il carico solido (C) eccede l'80% in peso e le caratteristiche fisiche sono dominate dall'interazione delle particelle solide.

Il primo tipo di flusso (caso n. 1) è tipico dei canali denudati su un substrato lapideo compatto che limita e/o impedisce i processi d'intrappolamento di materiale solido nel flusso.

7. Progetto "Rainfall"

Il secondo caso è tipico di canali incisi in zone con presenza di detrito. Questo è eroso progressivamente (processo di bulking), ma non eccede l'80% in peso del flusso.

Il terzo caso, invece, è tipico di canali incisi in zone con abbondante presenza di sedimenti sciolti facilmente erodibili dal flusso in movimento. Un altro caso tipico che rientra in questa casistica, è la presenza di canali caratterizzati da sponde ripide ricoperte da depositi colluviali e/o suolo soggetti a frane.

Per quanto attiene la reologia dei flussi, i fenomeni connessi a movimento di terra e acqua, si possono distinguere in due macro categorie: i flussi non newtoniani (tipo granulare, plastici o visco-plastici) in cui vi è un'elevata presenza di particelle che dominano la dinamica del flusso e i flussi newtoniani in cui il numero di particelle solide all'interno del fluido è trascurabile e la fase liquida comanda la dinamica del flusso.

Il calcolo delle caratteristiche fisiche delle varie tipologie di flussi è diverso ed è funzione dei dati rilevati in campagna (così come sarà spiegato in seguito).

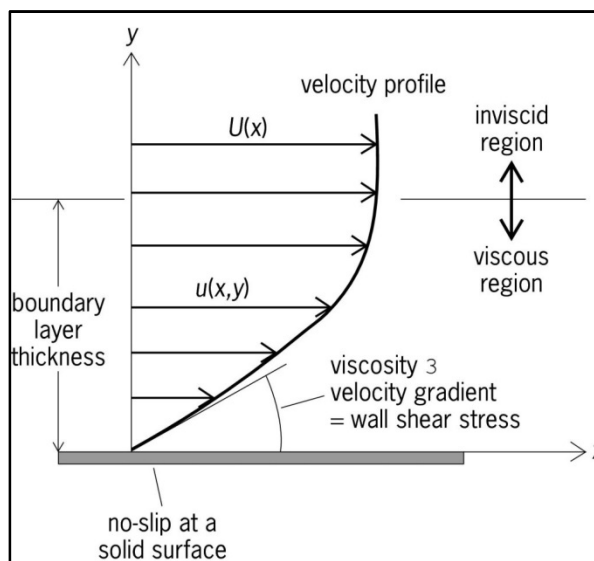


Figura 11 – Flusso viscoso su una superficie di scorrimento.

I flussi acquosi sono capaci di muoversi su lunghi percorsi e sono caratterizzati da moto turbolento proprio in funzione della bassa presenza di particelle. E' questo il caso di lame e gravine. Alla base di questa tipologia di flussi, spesso, si osserva un "tappeto di

7. Progetto "Rainfall"

trazione" costituito da materiale più grossolano che viene trascinato dal flusso in movimento.

Nel caso in cui i depositi su indicati siano mancanti, le caratteristiche del flusso saranno calcolate in base alle portate massime attese (Q_{max}) in funzione di determinati tempi di ritorno, il gradiente idraulico e i dati pluviometrici reperibili presso gli Uffici Regionali di Protezione Civile.

Qualora si riscontrino, invece, depositi trattivi ben conservati, le caratteristiche d'impatto dei fluidi (P_d) saranno calcolate attraverso metodi sedimentologici che legano le proprietà del deposito alla velocità media e alla densità del flusso che lo ha prodotto.

In questo caso, il modello sfrutta alcune caratteristiche tipiche dei flussi turbolenti in cui le componenti fluttuanti della velocità danno luogo a stress turbolenti che si aggiungono agli stress legati alla viscosità del fluido newtoniano e che tendono a ridursi in corrispondenza di una superficie di scorrimento.

E' stato dimostrato che, per i fluidi newtoniani, finché non si supera un valore critico del numero di Reynolds compreso tra 2000 e 2400, qualunque perturbazione del moto, è smorzata dall'azione frenante della viscosità.

Al di sopra di tale limite, si crea una regione denominata " turbulent boundary layer" (**Figura 11**).

Nella regione prossima al substrato (viscous sublayer), l'equazione che descrive il profilo delle velocità prende il nome di "Legge della Parete" ed è la seguente:

$$u/u^* = (v_u * z)/\nu \quad (7.3.1)$$

dove:

- u velocità del flusso;
- ν viscosità;
- z altezza del flusso;
- u^* velocità di taglio.

7. Progetto "Rainfall"

Quest'ultima ha le dimensioni della velocità, ma è espressa da:

$$u^* = \sqrt{(\tau/\phi f)} \quad (7.3.2)$$

dove:

- ϕf densità del flusso;
- τ sforzo di taglio.

Il valore dello sforzo di taglio è ricavabile dai dati di campagna e tenendo in debito conto le dimensioni e la forma dei clasti trascinati dal flusso alla sua base, ma che non vengono intrappolati all'interno del flusso stesso.

Quando è presente il viscous sublayer, il profilo delle velocità dipenderà dalla viscosità del flusso in quanto questa zona deve essere connessa con la parte alta del buffer layer in cui si risentono ancora gli stress viscosi. Per questa zona, si applica la legge logaritmica della velocità:

$$u/u^* = 2,5 \ln ((u^*z)/\nu) + 5,5 \quad (7.3.3)$$

Nella restante parte del flusso (outer layer), vi è la completa supremazia degli stress turbolenti e, in tal caso, si applica la legge del difetto delle velocità:

$$(u_m - u)/u^* = - (1/k) \ln(z/H) \quad (7.3.4)$$

dove:

- k 0,41 (costante di Von Karmann);
- H spessore del flusso.

Dai profili di velocità e della densità, si ricaverà il valore della pressione dinamica specifico per determinate altezze. Questa sarà poi sommata al valore della P_d data dalla relazione:

$$P_d = u^* \Delta H \quad (7.3.5)$$

Il modello proposto è valido per un'ampia gamma di carichi solidi e comprende flussi acquosi e iperconcentrati. Nel caso in cui le particelle solide all'interno di un flusso

7. Progetto "Rainfall"

acquoso eccedano l'80% in peso dello stesso, ci si rifà ad altri modelli validati su casi recenti sia in Italia che nel mondo. Un esempio particolarmente calzante è rappresentato dalle colate di fango generatesi il 5 e 6 maggio del 1988 a Sarno (ma anche quanto accaduto nell'alluvione del 2005 in zona Mottola-Palagiano). Nel caso di Sarno vi furono 130 vittime mentre nel caso di Mottola-Palagiano due.

In caso di presenza di depositi di debris flow (cioè colate di fango particolarmente concentrate), è possibile ricavare l'altezza del flusso dai drappi di fango lasciati sulle abitazioni e/o dal grado di erosione sugli argini dei corsi d'acqua. La densità, invece, si può ricavare dall'analisi dei depositi finali con tecniche bene conosciute in letteratura (Iverson, 1997; Zanchetta et al., 2004). La velocità di un debris flow può essere dedotta anche dalla sopraelevazione contro un ostacolo convertendo l'energia cinetica in energia potenziale.

Un ultimo caso è rappresentato dall'assenza di qualsiasi dato rilevabile in campagna circa lo spessore del flusso in movimento. In quest'ultimo caso, i parametri fisici relativi ad un potenziale flusso acquoso-fangoso possono essere desunti dal calcolo del volume di materiale potenzialmente disponibile per la formazione dello stesso e calcolando la portata massima attesa dal gradiente idraulico.

7.4 **Fasi di Lavoro**

A. INDIVIDUAZIONE DELLE AREE SOGGETTE A EVENTUALI DISSESTI

IDROGEOLOGICI: questa fase comprende tutte le operazioni di ricognizione delle aree da investigare tramite cartografia già esistente in bibliografia. Durante questa fase, saranno esaminate ortofoto recenti al fine di individuare le aree potenzialmente soggette a dissenti idrogeologici e/o pericolosità idraulica.

B. INDIVIDUAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI E DELLE SEZIONI DI CHIUSURA:

dopo l'individuazione delle aree potenzialmente soggette a pericolosità idraulica, sarà individuato il bacino idrografico di riferimento mediante l'utilizzo di ortofoto, cartografia I.G.M. (Istituto Geografico Militare) e D.E.M. (Digital Elevation Model). In questo modo, sarà possibile stimare, secondo fissati tempi di ritorno, il quantitativo d'acqua presente alle sezioni di chiusura che saranno ubicate in prossimità delle

7. Progetto "Rainfall"

aree soggette a rischio. i dati pluviometrici saranno riferiti ad una serie storica e elaborati con metodologie statistiche al fine di ricostruire la "Curva di possibilità pluviometrica" (L.S.P.P.). Qualora tali dati dovessero risultare insufficienti e/o carenti, si farà riferimento al metodo VA.PI. (Valutazione delle Piene).

C. RILEVAMENTO GEOLOGICO IN CAMPAGNA: Al fine di valutare la significatività dei dati reperiti in bibliografia e la significatività degli affioramenti scelti durante la fase A, sarà pianificata una campagna geologica al fine di reperire dati sedimentologici e stratigrafici relativi alle aree in esame. Durante questa fase, saranno evidenziati caratteri distintivi dei sedimenti e delle strutture sedimentarie di ciascun affioramento e prelevati i campioni significativi utili all'analisi successiva in laboratorio. Ciascun affioramento sarà fotografato e rilevato. Ciascun campione prelevato sarà contrassegnato con una sigla e fotografato prima di essere sottoposto ad analisi di laboratorio.

D. ANALISI DI LABORATORIO: La prima analisi condotta sui campioni prelevati sarà l'analisi granulometrica. Saranno separate le diverse classi granulometriche mediante un set di 19 setacci compresi tra -6Φ (34 mm) e $+3 \Phi$ (0,125 mm) con un passo di $1/2 \Phi$. La separazione delle particelle più piccole avverrà mediante meccanismi di sedimentazione. Di ciascuna classe saranno determinate le percentuali in peso e i dati così ottenuti saranno trattati mediante elaborazione statistica al fine di calcolarne a mediana (che è rappresentativa delle dimensioni delle particelle). Oltre alla mediana, sarà calcolato anche il "sorting" ovvero il grado di "assortimento" del campione che, statisticamente, rappresenta la deviazione standard del campione. Dopo questa prima fase di "lavorazione" del campione, si passerà alla separazione delle componenti litiche e all'individuazione di quelle rappresentative. Fondamentale sarà il calcolo della densità dei clasti che verrà effettuato sperimentalmente mediante l'utilizzo di un picnometro di Guy Lussac da 10 ml. Ciascuna misurazione sarà effettuata almeno 10 volte al fine di ottenere un valore medio per ciascuna classe granulometrica. Al fine di applicare il modello esposto nel capitolo precedente, si renderà necessario conoscere anche l'aerodinamicità delle particelle. La velocità di settling (o velocità terminale) di una particella, è un parametro che esprime il comportamento aerodinamico della

7. Progetto "Rainfall"

stessa ed è, infatti, la chiave che permette di conoscere la velocità del flusso che trasporta le particelle in sospensione. Da alcuni studi sperimentali (Dellino et al., 2005), è stata ricalcolata la velocità terminale delle particelle in funzione della Legge d'Impatto di Newton (1851). Secondo tale teoria, la velocità terminale di una particella è funzione della sua densità, della densità del fluido che attraversa e del coefficiente di forma. Per determinare il "Coefficiente di Forma", si farà ricorso a foto digitali dei clasti che saranno, successivamente, elaborate con tecniche di analisi d'immagine. Calcolato il diametro della sfera equivalente, sarà definito il fattore di forma come il rapporto tra sfericità e circolarità della particella. Più il fattore di forma si avvicina ad uno e più la forma della particella sarà vicina a quella della sfera equivalente.

E. CALCOLO DEI PARAMETRI D'IMPATTO: Dopo aver ricavato la velocità terminale delle parti-celle prelevate in campagna e dopo aver definito i principali parametri fisici in laboratorio, si passerà all'applicazione matematica del modello proposto. Quando una particella si deposita sul fondo di un canale, significa che la sua velocità terminale è uguale o inferiore alla velocità del flusso. Nota, quindi, la prima velocità, ricaviamo la seconda in base alla seguente relazione:

$$P_d = 1/2 \varphi_f v^2$$

dove il valore della velocità (v) è proprio quella ricavata sperimentalmente.

In base all'applicazione di questo modello, sarà possibile ricavare la pressione dinamica esercitata dal flusso (acqua e fango) sugli ostacoli.

F. CARTOGRAFIA E SINTESI DEI RISULTATI: l'ultima fase di questo progetto prevede la rappresentazione cartografica dei dati ottenuti e l'elaborazione di una relazione riassuntiva. Sarà, quindi, possibile redigere cartografie tematiche in funzione delle aree esposte al rischio idraulico e avere una stima dei parametri d'impatto. Quest'ultima fase è la fase chiave del progetto. In realtà, grazie alla cartografia tematica, sarà immediatamente possibile conoscere in quali aree potrebbero attivarsi fenomeni di pericolosità idraulica in concomitanza di eventi calamitosi e conoscere l'entità del danno atteso. Se in tali aree, infatti, vi fossero

7. Progetto "Rainfall"

strutture e infrastrutture, queste sarebbero soggette all'impatto di flussi acquoso-fangosi in concomitanza di eventi particolarmente calamitosi. Calcolando l'impatto a cui sarebbero soggetti, si potrebbero attuare tutti quegli adempimenti tecnici tali da ridurre la vulnerabilità degli stessi e quindi e quindi i danni legati al verificarsi dell'evento.

Noci, Ottobre 2014

Il geologo

(Dr. Fedele Massimiliano COLUCCI)