

COMUNE DI GONNESA



PIANO URBANISTICO COMUNALE IN ADEGUAMENTO AL P.A.I. ED AL P.P.R.

STUDIO DI COMPATIBILITA' GEOLOGICA, GEOTECNICA E IDRAULICA (Ai Sensi Dell'Ar. 8 comma 2 e degli Artt. 24 e 25 delle N.T.A. del P.A.I.)

Ufficio Tecnico Comunale - Area Urbanistica, Territorio e Ambiente
Coordinamento Generale:

Ing. Alessandra Farigu

Consulenti specialisti

Geol. Aurelio Fadda

Ing. Nicola Todde

Geol. Pietrino Piras

Ing. Paolo Montisci

Sindaco:

On. Pietro Cocco

tav. n°:

R 01

scala:

data:

Novembre 2012

Titolo

RELAZIONE TECNICA

protocollo

nome file

formato

Sommario

1.	<i>PREMESSA</i>	3
2.	<i>INQUADRAMENTO TERRITORIALE E URBANISTICO</i>	4
3.	<i>PERIMETRAZIONE DELLE AREE A PERICOLOSITA' DI FRANA E INONDAZIONE SECONDO IL P.A.I. VIGENTE</i>	6
4.	<i>ANALISI DEI FENOMENI ED EVENTI STORICI DI DISSESTO NEL TERRITORIO</i>	8
4.1.	Analisi del progetto AVI (aree vulnerate italiane)	8
4.2.	Analisi del Progetto IFFI (inventario dei fenomeni franosi)	12
5.	<i>METODOLOGIA DI LAVORO - Parte Geologica</i>	16
6.	<i>INQUADRAMENTO GEOLOGICO</i>	18
6.1.	Posizione Geografica	18
6.2.	Caratteri climatici	18
6.3.	Geologia e Litologia	19
6.4.	Lineamenti Strutturali	22
6.5.	Caratteri Geomorfologici	22
6.6.	Caratteri Geopedologici e Uso del Suolo	24
6.7.	Caratteri Idrogeologici	27
6.8.	Idrologia superficiale	30
6.9.	Idrologia sotterranea	31
7.	<i>STUDIO GEOTECNICO</i>	33
7.1.	Caratteri geotecnici dei litotipi presenti	33
7.2.	Scavi e stabilità delle pareti	37
7.3.	Portanza ed analisi dei Pendii	39
8.	<i>ANALISI DELLA INSTABILITA' POTENZIALE DEI VERSANTI E PERICOLOSITA' DA FRANA NEL TERRITORIO DI GONNESA</i>	41
8.1.	Premessa	41
8.2.	Caratteristiche generali delle fenomenologie franose	42
8.3.	Tecnica dell'Overlay Mapping	46
8.3.1.	La Carta Geolitologica	46
8.3.2.	La Carta delle Acclività	47
8.3.3.	Carta dell'Uso del suolo	48
8.3.4.	Carta dell'Instabilità Potenziale dei versanti	50
9.	<i>CLASSI D' INSTABILITA' POTENZIALE NEL TERRITORIO DI GONNESA</i>	50
10.	<i>LE AREE DI PERICOLOSITA' PER FRANA NEL TERRITORIO DI GONNESA (FASE I)</i>	51
10.1.	Fenomeni franosi	52
10.2.	Pericolosità da Crolli e Ribaltamenti	52
10.3.	Pericolosità da colate detritiche	52
10.4.	Carta della pericolosità per frana	53
10.5.	Descrizione dei fenomeni franosi in area vasta	57

11.	LA PERIMETRAZIONE DEL RISCHIO FRANA A SEGUITO DELLO STUDIO EFFETTUATO	59
12.	COMPATIBILITA' DEL PIANO URBANISTICO CON LE AREE A PERICOLOSITA' DI FRANA	62
13.	METODICHE DI INTERVENTO PER LA MITIGAZIONE DEI FENOMENI FRANOSI.....	64
13.1.	Interventi di stabilizzazione dei pendii in terreni.....	64
13.2.	Interventi di stabilizzazione dei pendii rocciosi.....	66
14.	MONITORAGGIO DEI FENOMENI FRANOSI.....	67
15.	METODOLOGIA DI LAVORO - Parte idraulica	70
15.1.	IDENTIFICAZIONE DEI TRONCHI CRITICI.....	73
15.2.	FASCE DI TUTELA DEI CORPI IDRICI SUPERFICIALI.....	76
16.	ANALISI IDROLOGICA.....	77
16.1.	STUDIO DELLA PORTATA DI PIENA	80
16.2.	CALCOLO DELL'INTENSITÀ DI PRECIPITAZIONE (Modello TCEV).....	80
16.2.1.	Calcolo del Coefficiente di Ragguaglio	87
16.2.2.	Calcolo del Coefficiente di Assorbimento.....	87
16.2.3.	Calcolo del Coefficiente di Laminazione	90
16.3.	CALCOLO DELL'INTENSITÀ DI PRECIPITAZIONE (Curve di possibilità pluviometrica - Studio Cao-Puddu-Pazzaglia, come aggiornato da Piga-Liguori)	91
16.4.	RISULTATI DEL CALCOLO	92
17.	ANALISI IDRAULICA.....	95
17.1.	CALCOLO DELLE ALTEZZE DI MOTO PERMANENTE	95
17.1.1.	Determinazione del profilo della corrente.....	95
17.1.2.	Il codice di calcolo HEC RAS	95
17.1.3.	Componenti idrauliche dell'analisi.....	96
17.1.4.	I calcoli idraulici	97
17.1.5.	Perdite di carico	98
17.1.5.1.	Perdite per attrito	99
17.1.5.2.	Perdite per contrazione ed espansione	99
17.1.6.	Sezioni interpolate.....	101
17.1.7.	Le giunzioni	101
17.1.8.	Ponti ed attraversamenti in sezioni chiuse	102
17.1.9.	Determinazione del profilo di moto permanente	103
18.	ANALISI DEI PROCESSI EROSIVI.....	105
19.	COMPATIBILITÀ DELLA PIANIFICAZIONE URBANISTICA CON LE AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA.....	107
20.	PIANO DI MANUTENZIONE E MONITORAGGIO.....	112
21.	CONSIDERAZIONI FINALI	112

Allegato I – Simulazione delle condizioni di deflusso in piena per i vari TR, sezioni trasversali e relativi livelli di piena, risultati delle elaborazioni numeriche, tabelle di calcolo

Allegato I I– Documentazione fotografica inerente le principali aree a pericolosità geomorfologica del Comune di Gonnese

1. PREMESSA

Il presente studio, realizzato dagli scriventi professionisti incaricati dal Comune di Gonnese, integra lo studio di pianificazione urbanistica del Comune, ed è stato sviluppato ai sensi e per gli effetti delle prescrizioni di cui all'art. 8 comma 2 delle Norme di Attuazione del P.A.I. SARDEGNA (Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino unico della Sardegna), aggiornato con Decreto del Presidente della Regione Sardegna n°35 del 21 marzo 2008, ed in ottemperanza e nel rispetto di quanto enunciato nel Titolo III - Capi I, II e III delle N.d.A., nonché con riferimento diretto agli allegati E ed F del medesimo strumento:

“indipendentemente dall'esistenza di aree perimetrate dal PAI, in sede di adozione di nuovi strumenti urbanistici anche di livello attuativo e di varianti generali agli strumenti urbanistici vigenti i Comuni - tenuto conto delle prescrizioni contenute nei piani urbanistici provinciali e nel piano paesistico regionale relativamente a difesa del suolo, assetto idrogeologico, riduzione della pericolosità e del rischio idrogeologico - assumono e valutano le indicazioni di appositi studi di compatibilità idraulica e geologica e geotecnica, predisposti in osservanza degli art. 24 e 25 delle N.d.A. medesime, riferiti a tutto il territorio comunale o alle sole aree interessate dagli atti proposti all'adozione”.

Inoltre sempre nel medesimo art. 8 al comma 5 si rileva che: *“in applicazione dell' articolo 26, comma 3, delle norme negli atti di adeguamento dei piani urbanistici comunali al PAI sono delimitate puntualmente alla scala 1:2.000 le aree a significativa pericolosità idraulica o geomorfologica non direttamente perimetrate dal PAI”*.

L'intento dello studio è quello di analizzare le potenziali modifiche sui regimi idraulici e sulla stabilità dei versanti determinabili dalla attuazione delle nuove previsioni di uso del territorio, con particolare riguardo ai progetti di insediamenti residenziali, produttivi, di servizi, di infrastrutture.

La finalità è stata quella di valutare la compatibilità della pianificazione territoriale con le caratteristiche geologiche, geotecniche ed idrauliche dello stesso, nonché con le N.A. del P.A.I., al fine di individuare eventuali criticità della programmazione e dell'attuale stato di fatto.

Nel Titolo III delle N.A. è riportata la disciplina delle aree di pericolosità di qualunque classe, con la quale sono individuati sia gli interventi comunque vietati e sia quelli consentiti e compatibili con il P.A.I. comprese per questi ultimi le eventuali limitazioni e condizioni d'applicazione e la richiesta di apposito studio di compatibilità idraulica o geologico - geotecnico.

Nello specifico, lo studio in oggetto si inserisce in questo contesto e nel suo ambito sono delimitate puntualmente, alla scala dello strumento urbanistico vigente, aree a significativa pericolosità idraulica e geomorfologica non direttamente perimetrate dal PAI.

Esso contiene infatti:

- l'analisi idrologica finalizzata alla definizione della portata di piena per i vari tempi di ritorno definiti dalle Linee Guida del PAI,
- l'analisi idraulica dei tronchi critici rilevati e della potenziale area di allagamento,
- la verifica della compatibilità idraulica e del conseguente aggiornamento del PAI.

Per quanto attiene le metodologie per le “attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia,” si sono applicati i criteri indicati nelle Linee Guida del PAI.

Con tale studio si potrà valutare la possibilità di delocalizzazione degli interventi ricadenti in aree a pericolosità elevata o molto elevata e prevedere la necessità di porre in essere una serie di interventi di compensazione e di mitigazione del rischio, ove non sia possibile operare la delocalizzazione degli interventi previsti o delle strutture già esistenti.

Lo studio contiene in allegato anche tutti gli elaborati grafici di dettaglio come: la carta dei bacini idrografici con le aste principali e le sezioni di riferimento, le carte dei vincoli esistenti (PAI vigente, Piano Stralcio delle Fasce Fluviali), la carta delle aree di pericolosità idraulica H_i ; la carta della sovrapposizione delle aree di pericolosità idraulica H_i con i vincoli esistenti oltre, alle carte tematiche di base (carte Geologica, Acclività ed Uso del Suolo) per la realizzazione della Carta della Instabilità potenziale dei versanti con la tecnica dell'Overlay Mapping che, unitamente alla carta Geomorfologica hanno consentito la realizzazione della Carta della Pericolosità da Frana.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E URBANISTICO

In generale, buona parte del territorio comunale ricade in aree a indice di antropizzazione quasi nullo, classificate urbanisticamente come Zone Territoriali Omogenee E (agricole) e H (di salvaguardia).

Relativamente alle Zone Omogenee H il nuovo P.U.C., in adeguamento al P.P.R., introduce concetti di salvaguardia e conservazione dell'assetto storico-ambientale, per cui impone condizioni di inedificabilità pressoché totale, e praticamente vieta quasi del tutto, non solo antropizzazioni, ma anche qualsiasi trasformazione del territorio.

Relativamente alle Zone Territoriali Omogenee E, vengono introdotti parametri urbanistico-edilizi di edificabilità rurale assolutamente di tipo “estensivo”: infatti, rispetto allo strumento urbanistico vigente, sono stati ridotti gli indici di fabbricabilità ed introdotti comparti minimi per l'edificazione decisamente superiori e pari a 3 ha, 5 ha e addirittura 10 ha nelle aree boscate (E5

marginali per attività agricola), aree che poco si differenziano dalle Zone omogenee H di salvaguardia ambientale per quanto riguarda le potenziali trasformazioni territoriali.

Le nuove edificazioni saranno comunque da realizzare al di fuori delle “Fasce di Tutela” dei corpi idrici superficiali, con dichiarazione sottoscritta da parte dei tecnici, e comunque nel rispetto dell’art.8, comma 8, delle N.A. del PAI (Fasce di tutela dei corpi idrici superficiali), come recepito nel Regolamento Edilizio.

Tutto ciò premesso, è evidente che la maggior parte del territorio comunale, classificato appunto come Zone Territoriali Omogenee E ed H, nei prossimi anni subirà un importante calo della densità abitativa e infrastrutturale, evitando così il suo inutile “consumo” a vantaggio della eco-sostenibilità delle attività agropastorali.

Per quanto riguarda le nuove previsioni di uso del territorio, con particolare riguardo ai progetti di insediamenti residenziali, produttivi, di servizi, di infrastrutture (art.8, comma 3 delle N.A. del PAI), le trasformazioni previste dal P.U.C. sono principalmente :

➤ Insediamenti residenziali

Le zone C in ambito urbano, fortemente ridotte rispetto alle previsioni degli strumenti urbanistici precedenti, sono state individuate e collocate in modo da completare il disegno urbano dell’insediamento attuale; le porzioni di territorio interessate sono direttamente contigue a comparti già urbanizzati e compiutamente strutturati.

➤ Insediamenti produttivi

Le zone D individuate dal Piano Urbanistico confermano quelle individuate dagli strumenti urbanistici precedenti. I comparti produttivi più importanti sono quelli dei grandi complessi della miniera di Seruci e di quella di Nuraxi Figus.

➤ Servizi

Sono riproposte per la quasi totalità le previsioni dello strumento urbanistico precedente. In aggiunta, sono state previste nuove zone G di servizi comunali per la collettività in località Fontanamare, Plagemesu e Punta s’Arena e alcune altre private di estensione limitata

➤ Insediamenti turistici

Le nuove zone turistiche, zone F sono state collocate in prossimità della zona urbanizzata del territorio comunale (centro abitato di Gonnese e borgo rurale delle vigne). Sono previsti interventi di riqualificazione con finalità turistiche di villaggi e siti minerari dismessi.

3. PERIMETRAZIONE DELLE AREE A PERICOLOSITA' DI FRANA E INONDAZIONE SECONDO IL P.A.I. VIGENTE

Nel presente paragrafo viene riportato un quadro riepilogativo della situazione di pericolosità e rischio sia di frana che di inondazione individuate nel vigente Piano di Assetto Idrogeologico.

Il suddetto Piano (P.A.I.) individua le aree a rischio idraulico e di frana e ha valore di piano stralcio ai sensi della L. 183/89.

Il PAI è entrato in vigore con Decreto dell'Assessore ai Lavori Pubblici n. 3 del 21/02/2006 ed è stato adottato e approvato nell'anno 2004 limitatamente alla perimetrazione delle aree a pericolosità H4, H3 e H2 e a rischio R4, R3 e R2.

Il Piano ha lo scopo di individuare e perimetrare le aree a rischio idraulico e geomorfologico, definire le relative misure di salvaguardia sulla base di quanto espresso dalla Legge n. 267 del 3 agosto 1998 e programmare le misure di mitigazione del rischio.

Ha inoltre valore di piano territoriale di settore e prevale sui piani e programmi di settore di livello regionale provinciale e comunale in quanto finalizzato alla salvaguardia di persone, beni, ed attività dai pericoli e dai rischi idrogeologici (Norme di Attuazione del PAI, Art. 4, comma 4).

Le previsioni del Piano producono pertanto effetti sugli usi del territorio e delle risorse naturali e sulla pianificazione urbanistica anche di livello attuativo, nonché su qualsiasi pianificazione e programmazione territoriale insistente sulle aree di pericolosità idrogeologica (N.A. PAI, art. 6).

Le Norme di Attuazione del PAI prescrivono che i Comuni e le altre Amministrazioni interessate, provvedano a riportare alla scala grafica della strumentazione urbanistica vigente, i perimetri delle aree a pericolosità idraulica H_i e geomorfologica H_g e delle aree a rischio idraulico R_i e geomorfologico R_g , e ad adeguare contestualmente le norme dello strumento urbanistico (N.A. PAI, Art. 4, comma 5).

Prevedono inoltre che nell'adeguamento della pianificazione comunale vengano delimitate le aree di significativa pericolosità idraulica e geomorfologica non perimetrata in precedenza dal PAI (N.A. PAI, Art. 26).

Indipendentemente dall'esistenza di aree perimetrate dal PAI, i Comuni, in base all'articolo 8 comma 2, devono produrre appositi studi di compatibilità idraulica e geologico-tecnica riferiti all'intero territorio comunale, approvati dall'Autorità Idraulica competente per territorio, integrandoli negli atti di Piano che costituiranno oggetto della verifica di coerenza (art. 31 commi 3, 5 L.R n.7/02).

Gli ambiti di riferimento del Piano sono i sette Sub-Bacini individuati, all'interno del Bacino Unico Regionale, ognuno dei quali è caratterizzato in generale da una omogeneità geomorfologica,

geografica e idrologica: Sulcis, Tirso, Coghinas-Mannu-Temo, Liscia, Posada – Cedrino, Sud-Orientale, Flumendosa-Campidano- Cixerri.

Il Comune di Gonnese si trova all'interno del sub-bacino n°1 del Sulcis.

Le situazioni riportate graficamente nelle tavole del P.A.I. Hi9/27 e Hi 10/27 (sub-bacino Sulcis), individuano i tronchi critici B1TC011 e B1TC012 ed inoltre individuano il codice frana B1Rg013 con schede B1Fr005 e B1Rg013 ed il codice frana B1Rg015 con schede B1Fr013 e B1Rg015.

La cartografia del P.A.I. ufficiale, così come di seguito sintetizzato, presenta delle limitazioni di varia natura; in particolare si osserva spesso che le campiture che identificano i diversi livelli di pericolosità e rischio si interrompono bruscamente.

Tali perimetrazioni sono state già recepite dal Piano Urbanistico Comunale riportando graficamente i loro limiti e adeguando contestualmente le norme di Attuazione del P.U.C. a quelle del P.A.I.

Tuttavia si osserva che sebbene tali zone di pericolosità siano comunque esemplificative e abbiano costituito un indirizzo operativo per l'applicazione delle norme tecniche in tutti questi anni, si è ritenuto necessario, in ottemperanza della normativa, effettuare le corrette perimetrazioni con gli appositi studi di compatibilità geologica, geotecnica ed idraulica.

Miniera di Seruci

Nel PAI viene riportata per l'area mineraria di Seruci una zona di possibile subsidenza indicata con la sigla **V007** o in altra cartografia come aree **Hg3**; tale perimetrazione per'altro incompleta, poiché interrotta bruscamente con una linea retta, non ha alcuna ragion d'essere poiché trattasi, della superficie interessata dagli uffici ed impianti esterni del cantiere minerario di Seruci.

Questo cantiere minerario sorge su un'area in debole acclività regolarizzata con la realizzazione di terrapieni; nell'area più a sud vi sono i bacini di fini di laveria colmati da materiali inerti e fini costipati da decenni e bonificati, oltre ad alcuni bacini minerari più recenti (anni 90'), realizzati come progetto di ampliamento e mai utilizzati.

Tali bacini progettati a seguito di ampie indagini geotecniche, vennero realizzati con tecniche ingegneristiche avanzate e sono dotati di dreno per eventuali acque piovane.

Proprio l'area ove sono presenti le infrastrutture minerarie, è notoriamente la meno indicata per il verificarsi di cedimenti, grazie agli ampi "stot" (pilastri) di protezione presenti.

La normale prassi prevede infatti che nessuna coltivazione mineraria, avvenga sotto i centri abitati (es: Nuraxi Figus) o gli edifici dei cantieri minerari; pertanto quest'area, per quanto affermato, è stata ripermetrata e opportunamente classificata.

La classe più opportuna per questa area, appare essere al massimo la Hg2.

Discariche Industriali di Acqua sa Canna e area di Cannemenda

Vengono inoltre erroneamente riportate come aree Hg3, le perimetrazioni di un impianto di cava e lavaggio sabbie a “Cannemenda” e le ex aree di cava di argilla di “Seruci - Acqua sa Canna”, trasformate in discariche controllata per rifiuti industriali.

Nel primo caso si tratta di una attività in corso ove, non esiste alcuna problematica di franosità mentre per il secondo, l'areale PAI esistente poteva essere ritenuto valido solo al momento della chiusura della attività di cava, che lasciava pareti verticali potenzialmente instabili.

Tale attività venne chiusa oltre 20 anni orsono e nell'area, fu autorizzata dalla R.A.S. la realizzazione di una discarica controllata di rifiuti industriali, oggi ormai colmata e messa in sicurezza.

Strade litoranee Gonnese-Portofino e Gonnese- Nebida

Qui le aree individuate corrispondono realmente a fenomenologie franose verificatesi perlopiù sui tagli stradali, realizzati su costa rocciosa a falesia, i cui areali sono stati meglio definiti dallo studio realizzato.

4. ANALISI DEI FENOMENI ED EVENTI STORICI DI DISSESTO NEL TERRITORIO

4.1. *Analisi del progetto AVI (aree vulnerate italiane)*

Nel 1989 il Dipartimento della Protezione Civile commissionò al Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDICI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche, il censimento delle aree del paese colpite da frane e da inondazioni per il periodo 1918-1990.

Successivamente si è provveduto ad estendere il censimento al periodo 1991-1994.

Nel 1996 venne pubblicata una prima carta sinottica delle principali località colpite da movimenti franosi e da inondazioni.

Si è provveduto a localizzare come punti ed a scala 1:100.000, tutte le località note per essere state colpite da frane od inondazioni.

Le notizie per le quali non è stato possibile individuare con ragionevole certezza la località colpita, sono state cartografate in corrispondenza del capoluogo comunale; ad ogni località è stato anche assegnato il grado di certezza nella localizzazione.

Nonostante le numerose limitazioni, dovute alla complessità del territorio italiano, alla diversa sensibilità e conoscenza sia attuale che storica dell'impatto che le frane e le inondazioni hanno sul

territorio, ed alle risorse limitate, il censimento rappresenta il più completo ed aggiornato archivio di notizie su frane ed inondazioni avvenute in questo secolo mai realizzato in Italia.

Con riferimento al territorio di Gonnese si osserva che il database relativo all'archivio Piene del progetto AVI, segnala unicamente due eventi di carattere generale.

ID	Numero	Numero_Sito	Certo	Regione	Provincia	Comune	Sito	gg	mm	aa	S0	S1	S2
12875	26	280026		Sardegna	Cagliari	Gonnese	Gonnese	11	5	1948			600114
12876	27	280027		Sardegna	Cagliari	Gonnese	Gonnese (Comune di) - Seruci	15	6	1972			600117
(Nuovo)													

Il primo è l'evento alluvionale (ID 12875) avvenuto in data 11/05/1948 ed il secondo (ID 12876) avvenuto in data 15/06/1972.

Situazioni di criticità avvenuti più di recente sono due eventi singoli interessanti il centro abitato di Gonnese sit. 20092028999 e sit. 20092028000, oltre ad un punto da 5 eventi, numero sit. 20092028001.

Inoltre vengono segnalati due eventi unici alla circonvallazione per Iglesias-Fontanamare con sit. 20092028004 per fenomeno alluvionale e sit. 20092028002 e sit. 20092028006 per franosità, con quest'ultimo ubicato in maniera piuttosto improbabile entro la palude di "Sa Masa".

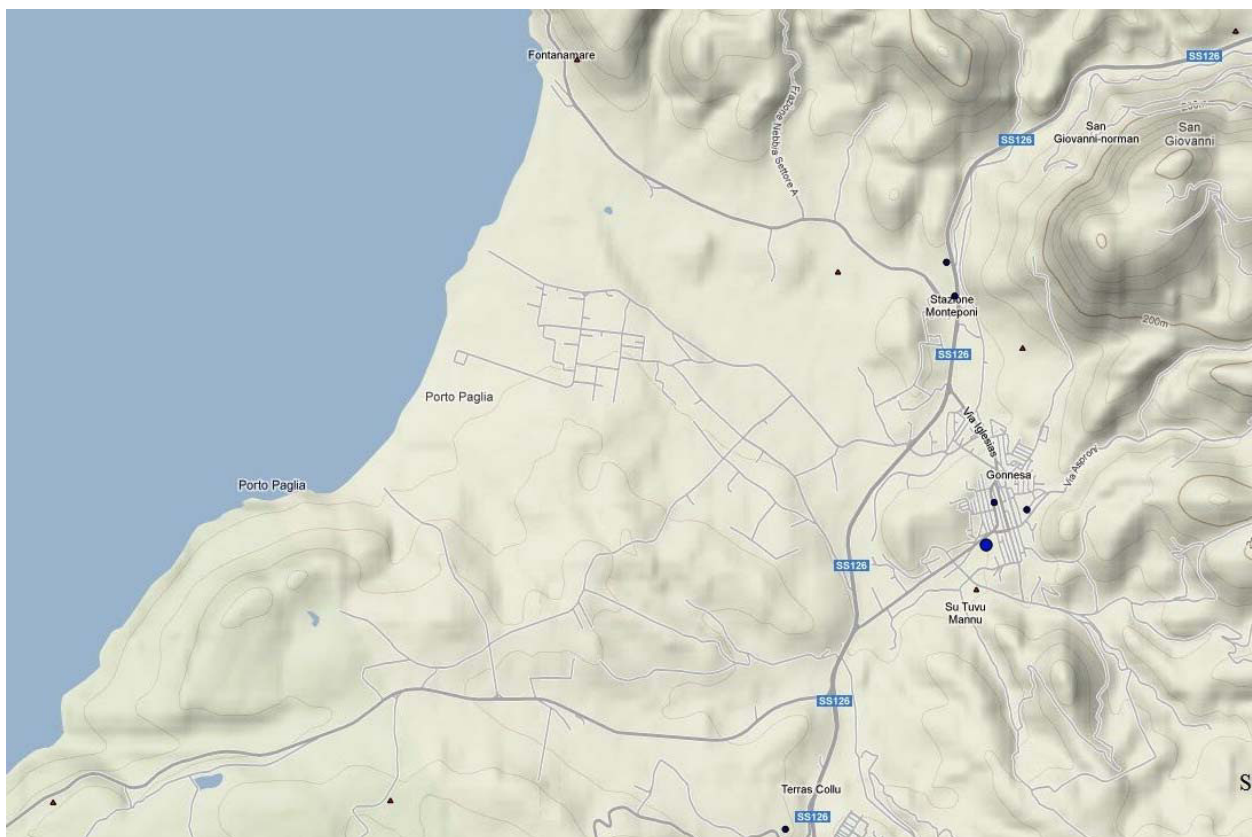
Altri eventi unici per frana si segnalano a monte di Fontanamare sit. 20092028004 e sulla strada litoranea per Portoscuso sit. 20092028005, oltre ad un evento con morti e feriti, dovuto con tutta probabilità, non ad episodi di franosità superficiale ma ad incidenti accaduti nel 1972 nella vicina miniera carbonifera; un ulteriore fatto non verificabile, è segnalato nel 1948, alla periferia sud di Gonnese.

Gli eventi segnalati nel Progetto AVI e qui riportati per ciò che concerne le inondazioni, non sono accompagnati da cartografie di delimitazione degli eventi.

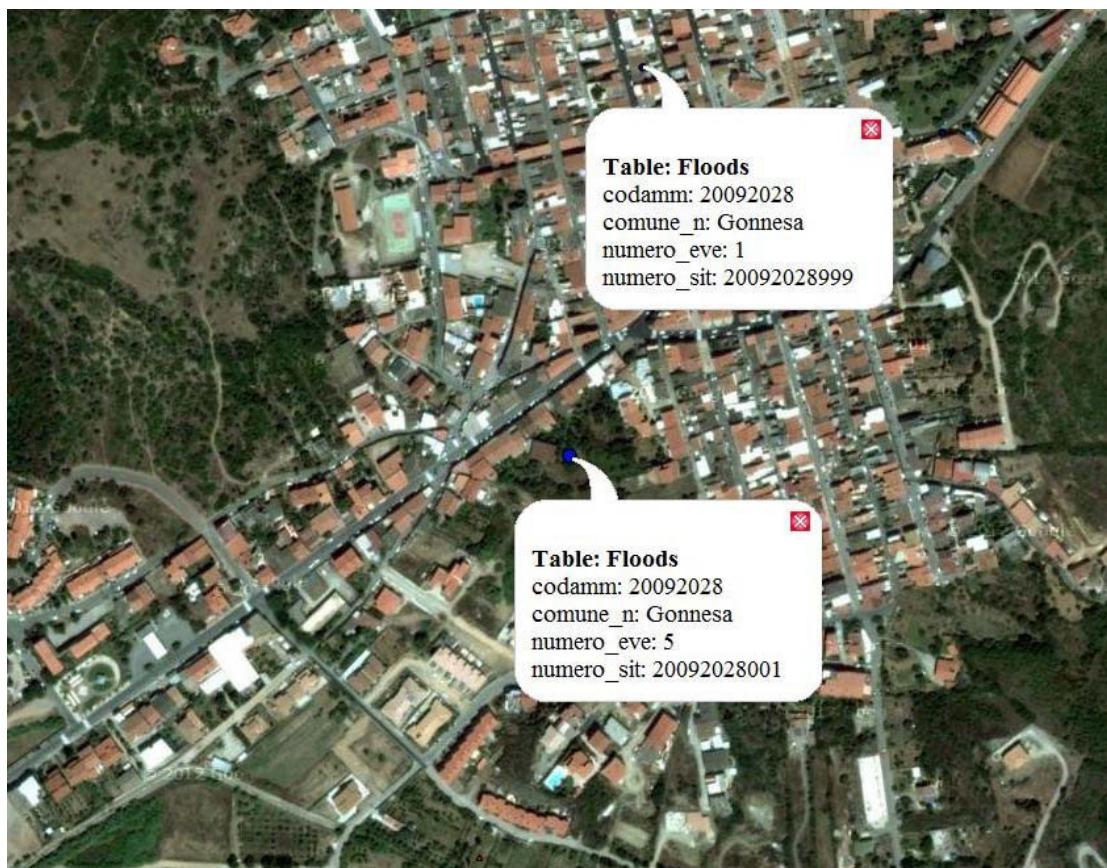
A prescindere da qualsiasi altra considerazione in merito, si osserva che dai dati storici emerge comunque una limitata predisposizione al dissesto franoso.

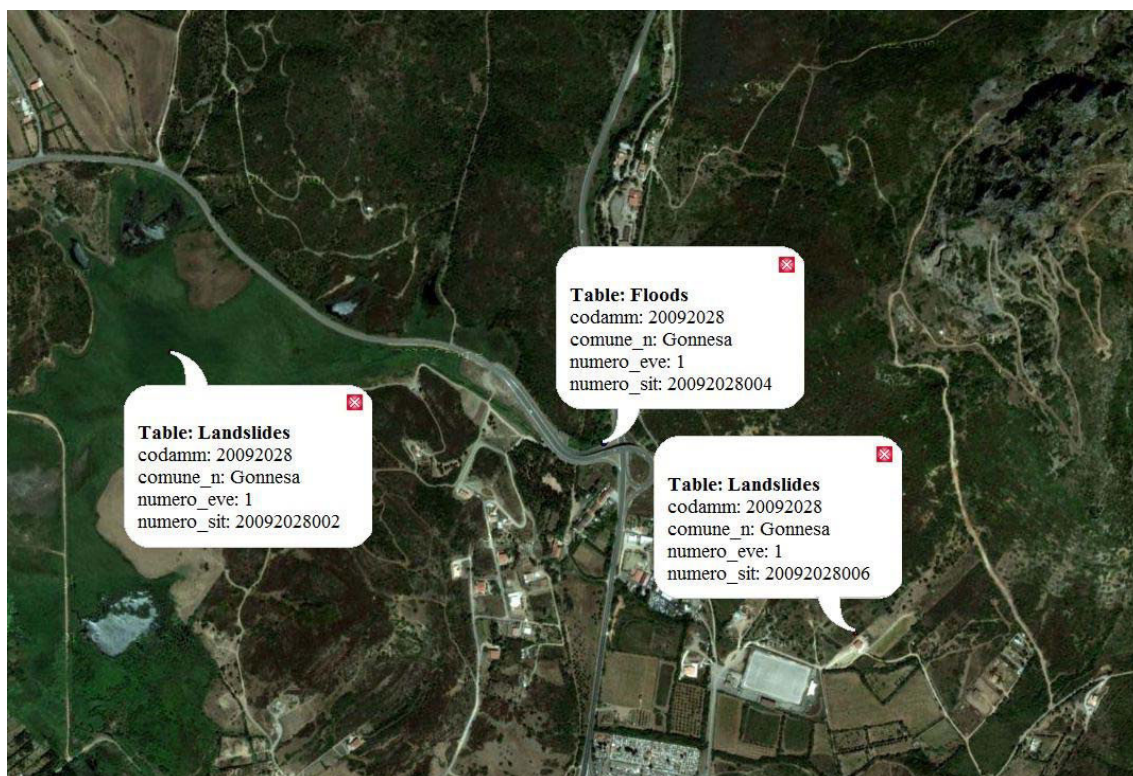
Dall'analisi dell'archivio delle piene del progetto AVI, emergono poche descrizioni di eventi franosi oltretutto mal posizionati.

1) Eventi alluvionali e di frana del territorio Gonnese (AVI)

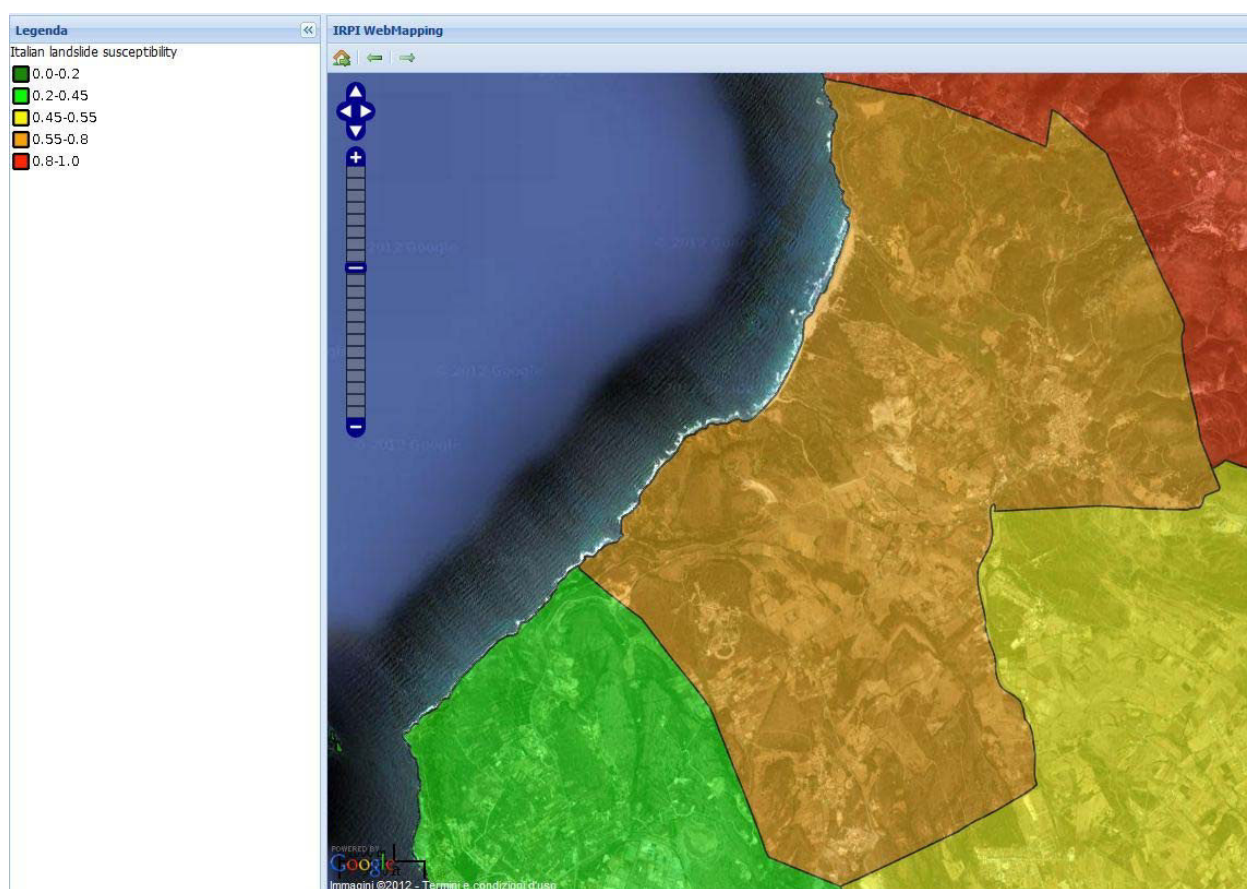


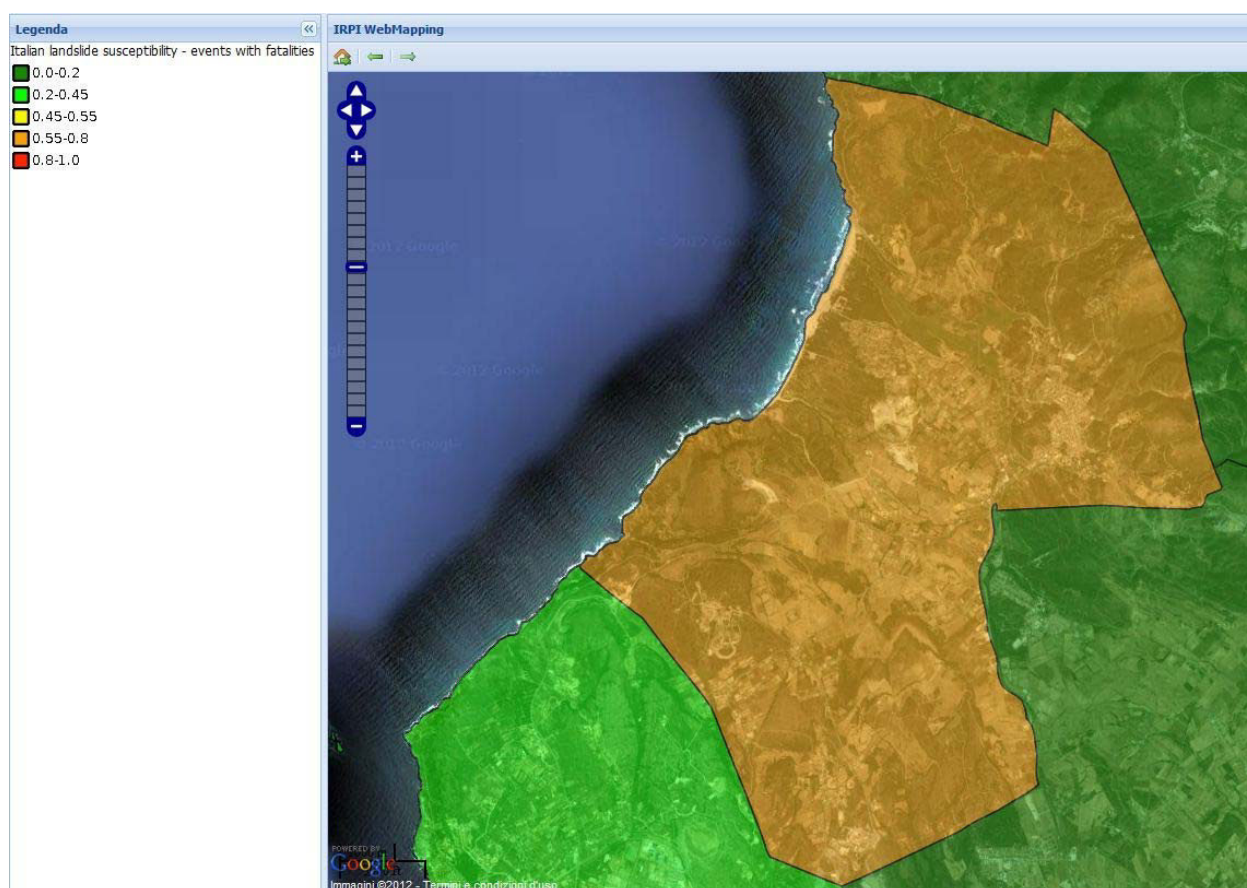
2) Foto indicanti alcuni eventi alluvionali e di frana del territorio Gonnese





3) Tavole della “susceptibilità di frana”





4.2. *Analisi del Progetto IFFI (inventario dei fenomeni franosi)*

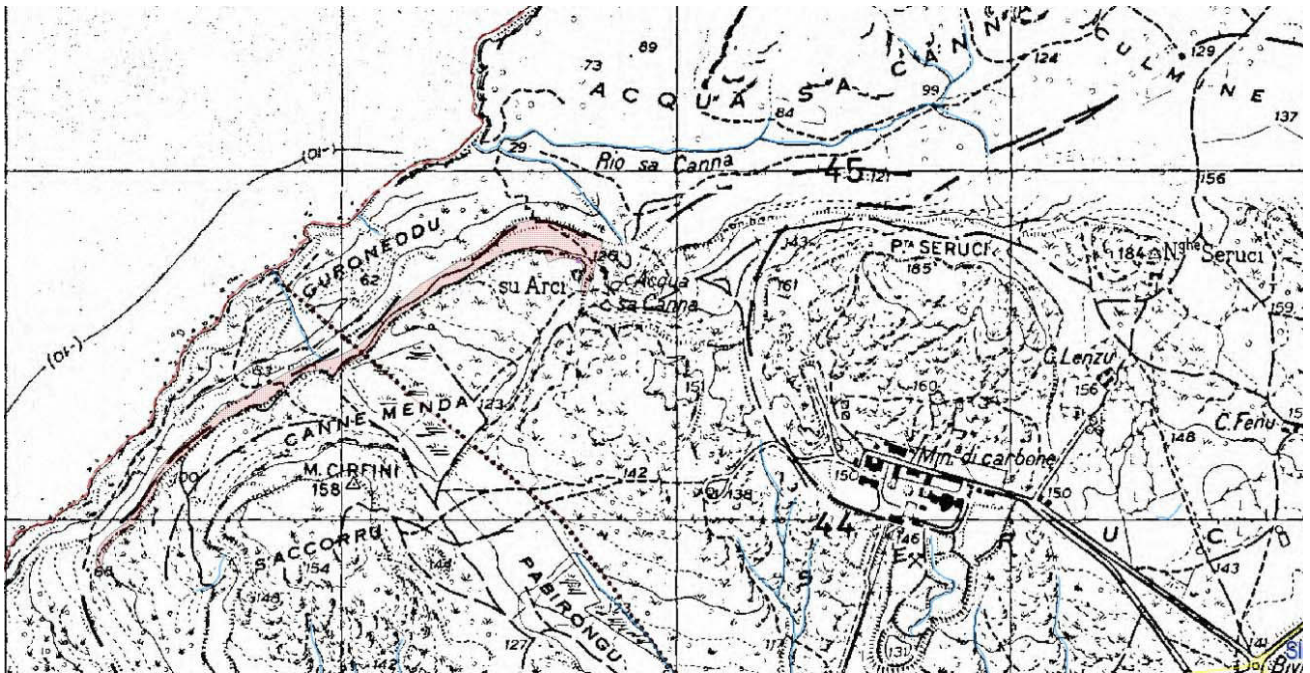
Altro progetto di interesse nazionale e regionale utilizzato al fine di valutare la storicità dei fenomeni franosi, è il Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia), realizzato da ISPRA e dalle Regioni e Province Autonome; esso fornisce un quadro dettagliato sulla distribuzione dei fenomeni franosi sul territorio italiano.

L'inventario ha censito ad oggi 485.000 fenomeni franosi che interessano un'area di 20.721 km², pari al 6,9% del territorio nazionale.

Non sono tuttavia riportati dati significativi e indicativi sulle località colpite.

Il progetto IFFI segnala diversi eventi franosi che hanno coinvolto il territorio e dei quali qui di seguito vengono riportati gli inquadramenti territoriali con riferimenti agli stralci delle CTRN.

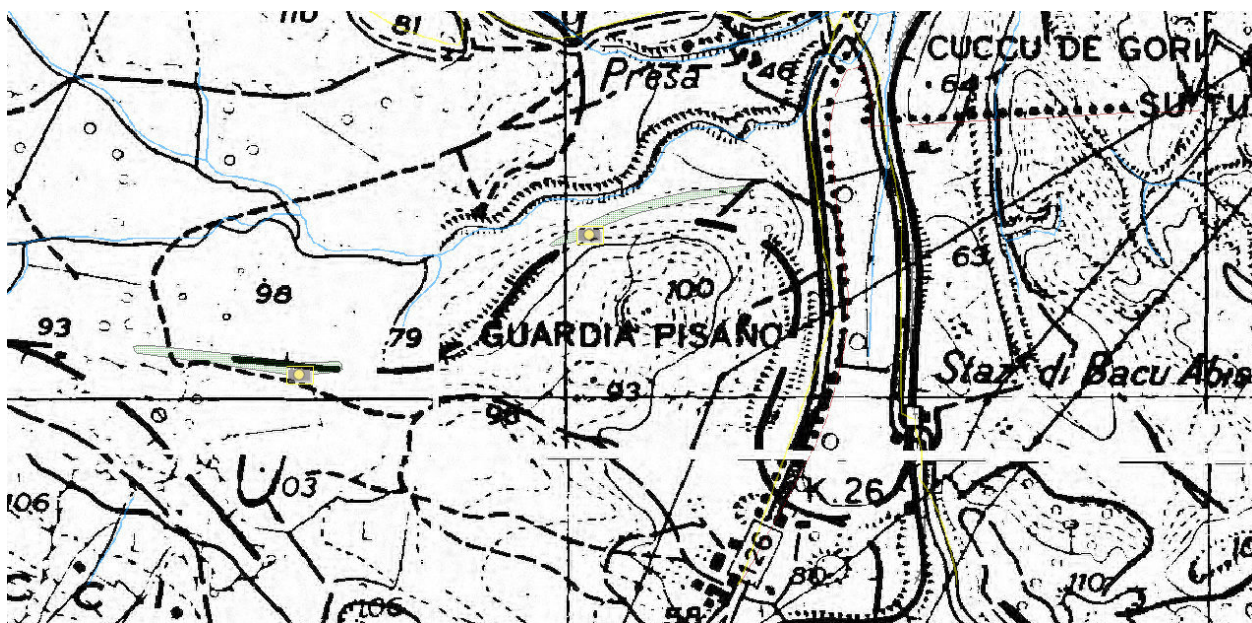
4) Eventi di frana nel territorio Gonnese (progetto IFFI): SP Gonnese – Portoscuso



5) Dettaglio fotografico: Eventi di frana nel territorio Gonnese (da progetto IFFI):



6) Eventi di frana nel territorio Gonnese (progetto IFFI): Tagli stradali SP Gonnese - Portoscuso



Nello studio IFFI si segnalano dei fenomeni, definiti come aree di crolli e ribaltamento diffuso, con ID frana n° 0920025400 ed un punto di scheda frana di 3° livello (viola) presso la strada ad Acqua sa Cana.

Le misure adottate sono costituite da opportune indagini geotecniche con la realizzazione di interventi di palificazione e sistemazione del versante tramite la messa in opera di paramassi, gabbionate, reti di contenimento e muri in calcestruzzo eseguiti sulla litoranea Nebida- Portoscuso. Lungo la stessa strada Gonnese – Portoscuso.

Più all'interno verso "Guardia Pisano", vengono indicate nello studio IFFI con gli ID frana: 0920040300 e 0920040400, due episodi di frane superficiali e diffuse, quiescenti, dovute a modesti crolli di detriti verificatesi su taglio stradale a litologia arenacea, con danni alla sede stradale.

Inoltre vengono indicati lungo la strada statale 126, a partire dalla nuova circonvallazione per Fontanamare, dei fenomeni franosi interessanti il taglio stradale, aventi codice ID: 0920036100 di tipologia "crollo e ribaltamento" su tipologia litologica scistosa, quiescenti, ove vennero installate idonee reti paramassi.

Più verso Iglesias, altre due aree sempre sullo stesso taglio stradale, con identica tipologia franosa e di intervento, hanno codice ID: 0920036200 e 0920036300.

***STUDIO DI COMPATIBILITA’
GEOLOGICA GEOTECNICA E IDRAULICA***

PARTE GEOLOGICA

5. METODOLOGIA DI LAVORO - Parte Geologica

La parte geologica integra lo studio di compatibilità geologica e geotecnica, costituisce il quadro di riferimento della compatibilità idraulica e secondo quanto richiesto dalla normativa illustra:

- l'assetto geologico di inquadramento;
- la situazione litostratigrafica locale;
- la definizione dell'origine e natura dei litotipi, del loro stato di alterazione e fratturazione e della loro degradabilità;
- i lineamenti geomorfologici della zona, gli eventuali processi morfologici nonché i dissesti in atto e potenziali che possono interferire con l'opera da realizzare e la loro tendenza evolutiva;
- i caratteri geostrutturali generali, la geometria e le caratteristiche delle superfici di discontinuità;
- lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea.
- Analisi delle permeabilità dei suoli e dei substrati, analisi dei bacini idrografici in relazione alla compatibilità idraulica.

La parte geotecnica che integra lo studio di compatibilità geologica e geotecnica comprende ed illustra:

- la localizzazione dell'area interessata dall'intervento;
- i criteri di programmazione ed i risultati delle eventuali indagini in sito e di laboratorio e le tecniche adottate con motivato giudizio sulla affidabilità dei risultati ottenuti;
- la scelta dei parametri geotecnici di progetto;
- la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo in relazione alle finalità da raggiungere, effettuata sulla base dei dati raccolti con le indagini eseguite;
- il dimensionamento dell'intervento;
- i risultati dei calcoli geotecnici;
- le verifiche di stabilità del pendio;
- le eventuali interazioni con altre opere;
- le conclusioni tecniche;
- le diverse tipologie delle opere di consolidamento e le finalità di ognuna di esse con valutazione di tipo analitico che ne evidenzino l'efficacia in riferimento alle condizioni pre-intervento;
- il piano di manutenzione degli interventi;
- il piano di monitoraggio per il controllo della efficacia degli interventi di consolidamento ed il programma delle misure sperimentali.

La metodologia per l'individuazione delle aree di pericolosità dell'intero territorio del comune di Gonnese, oltreché basarsi sulla cartografia esistente ha tenuto conto delle eventuali situazioni critiche che nel corso del tempo hanno causato dissesti nel territorio comunale.

L'individuazione delle aree a pericolosità di frana (Fase I) prevede, per ogni singola area, una prima identificazione delle situazioni di criticità e successivamente, per ogni singola situazione, l'analisi attraverso le metodologie previste dal CNR-GNDCI, e secondo le Norme Tecniche di Attuazione e le Linee Guida del PAI.

A seguito dell'individuazione delle varie zone critiche si sono prese in considerazione le tre carte principali:

Carta Geolitologica

Carta dell'uso del suolo

Carta delle pendenze

L'incrocio dei dati derivanti dai tre tematismi, litologia pesata, uso del suolo pesato e pendenze, hanno consentito l'elaborazione della **carta dell'instabilità potenziale dei versanti**, in cui si individuano aree omogenee a maggiore o minore attinenza potenziale allo sviluppo di fenomeni instabili.

Questa carta a sua volta rapportata alla carta Geomorfologica e dei fenomeni franosi, in cui vengono individuate non solo le frane già verificatesi, sottoposte o meno ad interventi di consolidamento, e quelle potenzialmente attivabili e già censite ed individuate, ma anche tutte quelle superfici che, per caratteri altimetrici, orografici, morfologici, litologici, stratigrafici, tettonico-strutturali, di esposizione, geotecnici, idrografici, idrologici ed idrogeologici, presentano una maggiore o minore propensione alla formazione, innesco e sviluppo di manifestazioni instabili, ha consentito la restituzione della **carta della pericolosità geologica da frana**.

Successivamente come prescritto nelle Linee Guida si provvederà a valutare i livelli di rischio frana e perimetrare le aree (Fase II).

La sovrapposizione di questi elaborati con la carta degli elementi a rischio darà quindi origine ad una mappa di rischio totale.

Per ogni area a rischio quindi secondo quanto previsto dalle Linee Guida del P.A.I. verranno redatte delle schede degli "Interventi di mitigazione del Rischio (Fase III).

6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

6.1. *Posizione Geografica*

Lo studio interessa il territorio Comunale di Gonnese (Prov. di CI.) che si colloca nella parte sud-occidentale della Sardegna.

L'area è compresa nel Foglio 555 della nuova Carta D'Italia I.G.M. 1:25.000, nelle Tavole editate nel 1993 è individuata dalle Sez. III Portoscuso.

Inoltre è distinta nella Carta Tecnica della Sardegna in scala 1:10.000, Fogli 555 060 "Nebida", 090 "M. Perdaia Mannas", 100 "Gonnese", 130 "Portoscuso", 140 "Cortoghiana" e 150 "Barbusi".

Il territorio in esame ha come limite occidentale la linea di costa che va dalla località "Porto Raffa" a Nord, sino a "Guroneddu" da qui parte il limite con il territorio di Portoscuso che va a "Nuraghe Ghilotta", e termina presso "Monte Is Frai".

A Sud confina col territorio di Carbonia che da Is Frai giunge in linea retta sino alla statale 126 all'altezza del cimitero (Punto di quota 113 m); da qui segue la 126 sino a "Funtana Morimenta", "Su Tuvu Mannu", "Monte Lisau", "Monte Onixeddu".

Il confine Est è dato dal limite col territorio di Iglesias che da M.Onixeddu passa ad Ovest di "Seddas Moddizis", "Punta Is Ollastus", Km 32 della SS 126, "Monte Scorra", "Genna Murtas" e termina nuovamente a Porto Raffa.

Da Cagliari si giunge a Gonnese percorrendo la S.S. 130 sino ad Iglesias; da qui si prosegue lungo la 126 per Carbonia.

Per chi giunge dal Sulcis, sempre percorrendo la S.P. 126, dopo aver superato la città di Carbonia, il bivio per Cortoghiana, quello per Bacu Abis e i due per Portoscuso, si giunge a Gonnese.

6.2. *Caratteri climatici*

Il clima esercita una importante influenza su di un gran numero di fattori ambientali; esso è dunque sempre strettamente legato alle caratteristiche geomorfologiche del territorio ed occorre dunque tenere in debito conto fattori quali piovosità, temperatura e ventosità.

Le variazioni di altitudine, di esposizione e pendenza condizionano vari fattori quali la distribuzione della energia solare assorbita, la quantità e la tipologia delle precipitazioni meteoriche ed infine lo sviluppo della vegetazione.

	G E N	F E B	M A R	A P R	M A G	G I U	L U G	A G O	S E T	O T T	N O V	D I C	T O T
T	11,5	11,5	12,8	14,7	17,8	21,6	24,3	24,8	23,1	19,5	15,6	12,8	17,5

L'area oggetto di studio è interessata dalla isoterma annua di 17,5°C; il mese più freddo è gennaio con temperature medie di 10°C mentre nel mese più caldo che è agosto si hanno medie di 25°C.

Il valore medio annuo delle precipitazioni si aggira intorno ai 600 mm e si è in presenza di regimi estremamente irregolari.

	G E N	F E B	M A R	A P R	M A G	G I U	L U G	A G O	S E T	O T T	N O V	D I C	T O T
P	88,01	71,69	59,08	45,24	29,82	10,81	1,67	6,92	33,01	74,97	93,74	102,9	617,9

I venti sono invece piuttosto regolari e sono legati alla circolazione troposferica del mediterraneo occidentale; la stazione di Carloforte indica la prevalenza dei venti da Nord (27%), da Nord-Ovest (21%), Est ed Ovest (10%), Sud e Sud-Ovest (7%) ed in ultimo Sud e Sud-Est (6%).

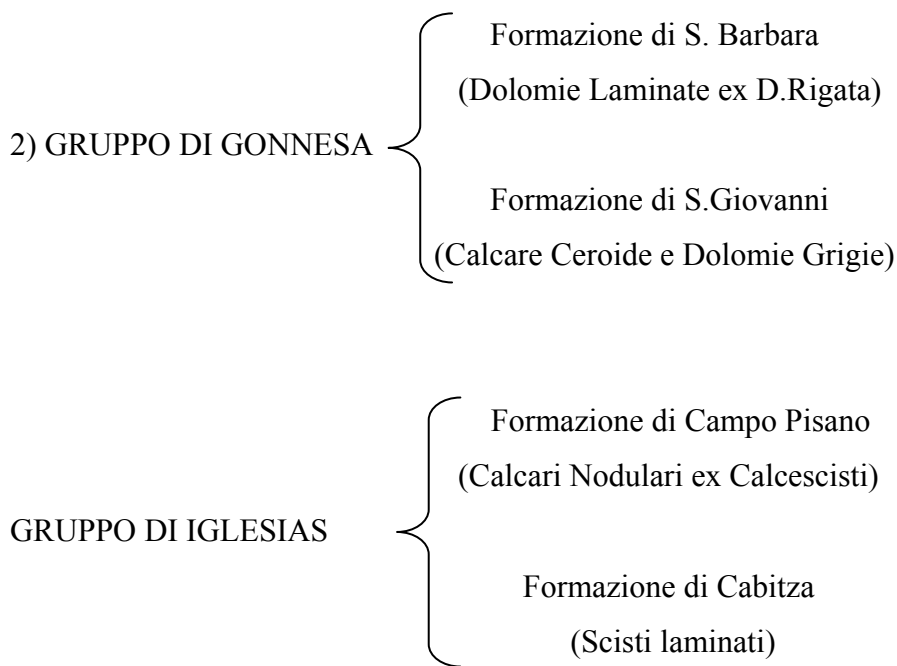
Sulla base dei dati sopra riportati ed utilizzando il sistema di classificazione basato sull'indice di aridità congiuntamente ai valori medi di precipitazione e temperatura (M. PINNA 1971), il clima dell'area viene classificato come subtropicale.

6.3. Geologia e Litologia

Le litologie affioranti nell'area oggetto del presente lavoro, sono costituite in parte dalla serie Paleozoica Cambro-Ordoviciano; si tratta di rocce di natura sedimentaria costituite da arenarie, calcari, calcari dolomitici, dolomie ed argilliti.

Per quanto attiene al Cambriano, esso costituito da tre "GRUPPI" ciascuno composto da due "FORMAZIONI" e differenti "MEMBRI" così come di seguito riassunti:

- 1) GRUPPO DI NEBIDA
- Formazione di Matoppa
(Arenarie, siltiti, scisti)
 - Formazione di Punta Manna
(Arenarie, Calcari Dolomitici)



L'Ordoviciano autoctono è costituito da due successioni che sono separate da una discordanza angolare:

una sequenza inferiore formata dalla parte sommitale della Formazione di Cabitza (Cambriano superiore - Tremadociano)

una sequenza superiore che inizia con la "Puddinga" e termina senza apparente discontinuità con il Siluriano.

Le litologie successive, delle quali si parlerà in dettaglio nella Stratigrafia, sono rappresentate dagli affioramenti Permo-Carboniferi della zona di "Guardia Pisano" sita circa 2 Km ad Ovest dell'abitato di Gonnese dove, si ritrovano argilliti grigio scure più o meno carbonatiche e sottilmente stratificate contenenti talvolta frammenti di piante.

Lo studio dei pollini conduce a considerare questa successione vulcano-sedimentare, come appartenente ai periodi Permo-Carboniferi: Stefaniano-Autuniano.

Ancora arenarie grigie, con livelli di piccoli conglomerati ed argilliti scure; le arenarie presentano strutture a stratificazione incrociata e sono molto ricche in biotite, feldspati e quarzo derivanti dalla erosione di edifici vulcanici.

Seguono banchi alterni di argilliti, arenarie e siltiti rosso-vinate con stratificazione incrociata e abbondanti piste fossili "Burrows".

L'ambiente di sedimentazione va da lacustre a fluvio-lacustre con attività vulcanica esplosiva associata; questi sedimenti sono ricoperti in discordanza angolare, dai sedimenti Eocenici del Bacino Carbonifero.

Per quanto attiene le formazioni appartenenti a quest'Era costituita da Trias, Giura e Creta, dobbiamo segnalare gli affioramenti Mesozoici di Campumari (Trias medio e superiore), dove esiste un vasto altopiano costituito da conglomerati con "caliche", calcari e calcari dolomitici stratificati alla base, poggianti in modo discordante sulle formazioni cambro-siluriane tettonizzate e spianate.

Vengono individuati da recenti studi i seguenti membri:

- "Su Grifoneddu" (MUK1), costituito da argille marnose alla base, seguite da dolomie stromatolitiche grigio scure, fetide e dolomie giallastre.
- "Su Passu Malu" (MUK2), costituito da brecce di collasso alla base, dolomie mal stratificate grigie a granulometria arenitica.

L'altopiano di Campumari, risulta sbandato verso SSW, come la serie Eocenica limitrofa, per effetto di faglie che portano la serie a sprofondare sotto la palude costiera di Fontanamare-Sa Masa che potrebbe essersi formata per effetto di una attuale subsidenza.

Le formazioni terziarie sono rappresentate dalla successione del Bacino Carbonifero Eocenico Sulcitano, dalla Formazione sedimentaria detritico- continentale del Cixerri che e dalla successione ignimbratica del ciclo vulcanitico Terziario che, poggiano in discordanza angolare sulle formazioni Paleozoiche basali, perlopiù tramite un conglomerato a ciottoli molto arrotondati.

Il ciclo vulcanico calco-alcalino Oligo-Miocenico, ricopre con i suoi prodotti ignimbratici stratoidi tutte queste litologie, in una successione di episodi aventi caratteristiche petrografiche differenti, che vanno dalle Daciti, alle Rioliti con intercalazioni piroclastiche cineritico-pomicce e talvolta intervalli sedimentari.

La successione individuata (Assorgia A. Fadda A. 1990-1992) è costituita da una serie di almeno 12 unità ignimbriche principali in gran parte sovrapposte in regolare successione stratigrafica così rappresentata dal basso verso l'alto:

1. Unità di Corona Maria (CNM)
2. Unità di Lenzu (LNZ)
3. Unità di Acqua sa Canna (AQC)
4. Unità di Seruci (SRC)
5. Unità di Conca is Angius(CIA)
6. Unità di Nuraxi Figus (NUR)
7. Unità di Monte Crobu (CBU)
8. Unità di Serra de Paringianu (SEP)
9. Unità di Monte Ulmus (ULM)
10. Unità di Paringianu (PRU)

11. Unità di Matzaccara (MAZ)

12. Unità Commenditica (CDT)

I sedimenti quaternari sono costituiti da depositi di spiaggia (g2), depositi Olocenici alluvionali (b), depositi di versante (a), arenarie marine ed eoliche (PVM1), detriti di falda ed accumuli di pietrisco ai quali si aggiungono le sabbie cementate dell'interglaciale Riss-Wurm, gli imponenti campi dunari costieri e le discariche (h1m), accumulate dall'uomo nel corso dei secoli con l'attività mineraria.

6.4. *Lineamenti Strutturali*

La serie Cambro-Ordoviciano ha subito gli effetti plicativi di due principali fasi orogenetiche: la prima detta Caledoniana e la seconda detta Ercinica.

Una terza orogenesi quella Alpina, si osserva solo a livello di sbloccamento del substrato mediante sistemi di faglie dirette.

Il Bacino Terziario del Sulcis, è interessato da importanti linee tettoniche che determinano una geometria a "blocchi"; la dimensione di questi è estremamente variabile ed è funzione diretta della entità delle singole fratture, mentre la geometria dei blocchi resta abbastanza costante, e si ripete alla differente scala dimensionale.

L'entità dei rigetti varia dal metro sino ad oltre 100 metri e lungo la stessa frattura è spesso possibile osservare una variazione del rigetto lungo la direzione (faglia a forbice) che riduce o esalta progressivamente l'entità della dislocazione.

Fra le strutture tettoniche presenti, diverse interessano l'area oggetto del presente studio; tali strutture hanno direzioni spesso opposte e sono accompagnate da un reticolo di fratture minori.

6.5. *Caratteri Geomorfologici*

La Geologia del territorio di Gonnese è costituita da rocce calcareo - dolomitiche e scistoso-arenacee (scisti etc.) dell'Era Paleozoica, e dalle rocce sedimentarie e vulcaniche dell'Era Terziaria. Le prime litologie danno luogo a morfologie diverse a seconda della differente erodibilità e risposta alle azioni orogenetiche.

Le aree calcareo - dolomitiche mostrano localmente rilievi dolci ed arrotondati (Monte San Giovanni etc.) ma non mancano le balze, i dirupi e le rotture di pendio originate dalle azioni tettoniche (pieghe, faglie) e dal Carsismo.

Le aree scistoso-arenacee presentano spesso morfologie aspre, con creste e tipiche "schiene d'asino".

Dove differenti litologie vengono in contatto si osservano i prodotti dell'erosione differenziale; è il caso dei filoni quarzitici che si ergono in alcune zone del territorio circostante (Monte San Giovanni) oppure, le balze della parte sommitale del Gruppo di Nebida dove strati calcarei ed arenacei ritmicamente sovrapposti danno luogo a tipiche “gradonate” (Serra Scoris).

Le caratteristiche generali sono collinari e pianeggianti, avendosi altimetrie al di sotto dei 500 m (M. te Scorra 478 slm. e M. te San Giovanni m 424 s.l.m.).

Le azioni tettoniche con pieghe, faglie inverse ed accavallamenti, accentua l'asprezza di taluni dirupi carbonatici, la cui stratificazione è spesso sub-verticale.

L'erosione e l'accumulo sono testimoniate dal pietrisco al piede dei versanti (detriti di pendio) e dai ciottoli quarzitici ed ematitici.

La linea di costa che da “Porto Raffa”, giunge alla spiaggia di Fontanamare e dalla Tonnara di Porto Paglia, sino alla zona di Canne Menda costituisce il limite del territorio; è costituita da una imponente falesia; essa rappresenta una caratteristica geomorfologica di primaria importanza.

Questa alta falesia, mostra due orientazioni principali interrotte dalla lunga spiaggia di Fontanamare:

- il primo tratto che va da “Porto Raffa” sino a “Fontanamare”, ha orientazione N-S ed è lungo circa 2000 m;
- il secondo tratto va da “Porto Paglia” sino a “Guroneddu”, è lungo circa 3250 m ed ha una orientazione NE-SW.

Questa falesia ha un aspetto piuttosto vario ed il primo tratto è caratterizzato da una morfologia perlopiù regolare; la costa si presenta localmente frastagliata in relazione alle condizioni litologico - strutturali.

Da Porto Raffa alla spiaggia di Fontanamare, la falesia mostra altezze massime che arrivano alle pendici dell'altopiano di Campumari e cioè intorno ai 180 m che decrescono sino ai 10-12 metri circa di Fontanamare, interrotta dalla strada litoranea che dai 110 metri s.l.m. presso Porto Raffa, scende presso il livello del mare.

Al piede della falesia sono localmente presenti degli accumuli di frana, costituiti da blocchi di varia pezzatura (“Guroneddu”) originati dai crolli naturali innescati dalle azioni di smantellamento esercitate dalla forza del moto ondoso e dagli agenti meteorici i quali, determinano il processo di arretramento della falesia.

Il secondo tratto di falesia orientato NE-SW è caratterizzato da un aspetto meno frastagliato e con pendenze meno accentuate del precedente.

Alcune zone costiere sono state interessate da fenomeni franosi con conseguenti imponenti accumuli di frana al piede che si elevano anche qualche metro sopra il livello del mare; in questi tratti di costa sono evidenti le nicchie di distacco.

Le altimetrie sono piuttosto basse con il massimo presso i confini estremi del comune di Gonnese, alla cima di Monte Scorra di 478 metri e presso il punto geodetico di “Monte San Giovanni” di 424 m s.l.m.; Il pianoro vulcanico presenta quota 184 m a Nuraghe Seruci, 185 m a P.ta Seruci, per poi decrescere verso il mare e le zone centro-meridionali.

I prodotti di tali eventi orogenetici sono i caratteristici “Pianori Ignimbrici” simili a “Giare”(M. Sini, M. Sirai, M. Essu, M. Narcao etc.), dove a causa del sollevamento e delle conseguenti azioni di erosione differenziale, viene messa in evidenza la loro tipica successione a “Gradoni”.

Le ignimbriti più saldate (Daciti e Rioliti) mostrano, a scala di dettaglio, un paesaggio caratterizzato da cavità più o meno ampie chiamate “Tafoni”, determinate dalle azioni di erosione e dissoluzione causate da vento, pioggia e temperatura.

Le morfologie fluviali impostesi sul paesaggio ignimbrico evidenziano una origine marcatamente tettonica; i corsi d’acqua si sono impostati in corrispondenza di faglie e fratture, seguendo percorsi pressoché lineari.

L’erosione fluviale ha determinato la formazione di profondi canali come quello di “Sturru” presso Nuraxi Figus, e come quelli del Rio Anguiddas e del Rio Ghilotta, tutti a direzione Nord-Sud; più raramente abbiamo impluvi Est-Ovest come quelli di “Acqua sa Canna” nel territorio oggetto del presente lavoro o il più distante canale di “Paringianu”.

L’abitato di Gonnese sorge ai piedi dei rilievi Paleozoici ad Est, sovrastato dai rilievi di Monte Lisau (218 m s.l.m.) a Sud, Monte Uda (253 m s.l.m.) e Serra Scoris (250 m s.l.m.) ad Est; Monte San Giovanni (424 m s.l.m.) a Nord-Est.

6.6. Caratteri Geopedologici e Uso del Suolo

La variabilità dei suoli è fortemente legata al substrato pedogenetico, ai materiali di trasporto (eolico ed alluvionale), al tempo di pedogenesi ed alla influenza antropica.

Nell’area oggetto di questo lavoro si possono individuare diverse unità pedologiche.

Utilizzando la carta dei Suoli della Sardegna, lavoro finanziato dalla Regione Autonoma della Sardegna attraverso l’Assessorato della Programmazione, Bilancio ed Assetto del Territorio e realizzato dal Dip.^{to} di Scienze della Terra dell’Università di Cagliari è stato possibile fare una sintesi delle diverse unità presenti nel territorio del Comune di Gonnese.

Questo al fine di distinguere i terreni sulla base delle loro caratteristiche geopedologiche, di uso (sia per limitazioni che per capacità), per le loro attitudini e interventi proposti al fine di conservarne l'equilibrio.

Le tabelle riassuntive che seguono, mostrano queste considerazioni e per una migliore interpretazione delle esposizioni si rimanda alle cartografie inerenti la materia e realizzate per il P.U.C.

Dall'analisi effettuata si evince che la natura del substrato geologico guida e condiziona l'evoluzione pedologica dei terreni presenti nel territorio comunale.

In particolare è da rimarcare ulteriormente la razionale cura da porre in corrispondenza delle criticità esposte.

Se si tiene in considerazione ad esempio il parametro "riduzione e regimazione del pascolo" si deve far notare, che tale raccomandazione viene fatta nel rispetto del principio della salvaguardia ambientale.

Aree sensibili, dal punto di vista del dissesto idrogeologico, se dotate di un opportuna protezione arborea tendono a subire in maniera minore le sollecitazioni poste dalle calamità naturali. Un uso intensivo (ad es pascolo), impedisce un corretto sviluppo arbustivo, compromettendo l'equilibrio generale.

Sono stati evidenziate vaste aree a forte pericolo di erosione, sintomo di una situazione che progressivamente si sposta verso una rottura dell'equilibrio sedimentario-giaciturale; questo sia per la evidente rocciosità d'insieme del contesto comunale (condizione singenetica del territorio), ma anche per un uso non conservativo delle risorse ambientali, come ad esempio lo scarso uso del rimboschimento come azione conservativa.

La realizzazione della Carta dell'uso del territorio è stata realizzata con un maggior dettaglio nella parte di territorio modellato artificialmente dall'attività umana.

Successivamente si è proceduto alla fotointerpretazione e ad una serie di sopralluoghi di verifica sul posto che si sono protratti lungo tempo ed interessato in modo capillare tutto il territorio comunale.

La Carta dell'UDS in scala 1:25000 della Regione Autonoma Sardegna è stata realizzata aggiungendo il quarto livello di lettura della copertura del suolo, giungendo così a definire per il territorio sardo 70 classi di copertura del suolo.

In questa fase di ricerca si è approfondito ulteriormente questo aspetto, arrivando fino al quinto livello per la scala 1:10.000.

Tale scelta si è resa indispensabile per fornire un quadro puntuale delle informazioni del territorio comunale di Gonnese finalizzato alla corretta pianificazione paesaggistica e d'uso del territorio.

Unità di paesaggio e substrati		Unità cartografiche	Classificazione suolo e capacità d'uso	Limitazione d'uso	Attitudine e interventi
A-Paesaggi su calcari, dolomie e calcari dolomitici del Paleozoico e mesozoico e relativi depositi di versante	A1-Aree con forme accidentate, prevalentemente prive di copertura arborea	1	Classi VIII-VII	A tratti: Rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità, forte pericolo di erosione	Conservazione e ripristino della vegetazione naturale, evitare il pascolo
B-Paesaggio su metamorfici (scisti, scisti arenacei e argilloscisti) del Paleozoico e relativi depositi di versante	B2-Aree con forme da aspre a sub pianeggianti al di sotto di 800\1000 m,	4	Classi VII-VI	A tratti: Pietrosità elevate, scarsa profondità, eccesso di scheletro, forte pericolo di erosione	Conservazione e infittimento della vegetazione naturale, riduzione e regimazione del pascolo
	B3- Aree con forme da aspre a sub pianeggianti al di sotto di 800\1000 m, con prevalente copertura arborea ed arbustiva	5	Classi VI-VII	A tratti: Rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità, eccesso di scheletro, forte pericolo di erosione	Conservazione e infittimento della vegetazione naturale, riduzione e regimazione del pascolo, a tratti colture agrarie
D- Paesaggio su rocce effusive acide (andesiti, rioliti e riodaciti) o intermedie (monoliti) del Cenozoico e relativi depositi di versante	D3- rioliti , riodaciti, ignimbriti: aree con forme da aspre a sub pianeggianti prevalentemente prive di copertura arborea	15	Classi VI-VII-VIII	Rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità, eccesso di scheletro, drenaggio lento, forte pericolo di erosione	Ripristino della vegetazione naturale, riduzione o eliminazione del pascolamento
H-Paesaggi su argille, arenarie e conglomerati (F. del Cixerri) dell'Eocene, Oligocene, Miocene	D4- rioliti, riodaciti,ignimbriti: aree con forme da aspre a sub pianeggianti con copertura arborea e sporadiche colture	16	Classi VII-V-IV	A tratti: Rocciosità e pietrosità elevate, scarsa profondità, eccesso di scheletro, drenaggio lento, forte pericolo di erosione	Conservazione, ripristino, infittimento della vegetazione naturale. Colture erbacee ed arboree anche irrigue nelle aree a minore acclività
M-Paesaggi su sabbie eoliche dell'Olocene	H1-Aree con forme ondulate e brevi tratti pianeggianti a prevalente	25	Classi III-II	A tratti: Scarsa profondità, eccesso di scheletro e di carbonati, drenaggio lento dovuto	Colture erbacee ed arboree anche irrigue
N-Paesaggi su sedimenti litoranei (paludi lagune costiere) dell'Olocene	M1-aree da pianeggianti ad Ondulate prevalentemente prive di copertura arborea	33	Classi II-III-VIII	Drenaggio eccessivo, a tratti drenaggio lento in profondità, forte pericolo di erosione	Conservazione e ripristino della vegetazione naturale, a tratti colture erbacee ed arboree
	N1-Aree pianeggianti o depresse con copertura vegetale Igrofila ed Alofila	34	Classi VIII	Drenaggio lento, salinità elevata. Pericolo di inondazioni	Conservazione dell'ambiente naturale

Unità Cartografiche	Descrizione dei Suoli
1	Roccia affiorante e suoli a profondità variabile nelle anfrattuosità della roccia, con profili A-R e A-Bt-R, argillosi, poco permeabili, neutri, saturi
4	Profili A-C, A-Bw-C e subordinatamente A-Bt-C e roccia affiorante, da poco a mediamente profondi, da franco sabbiosi a franco argillosi, da permeabili a mediamente permeabili, subacidi, parzialmente saturati
5	Profili A-Bw-C, A-Bt-C e subordinatamente A-C, da poco a mediamente profondi, da franco sabbiosi a franco argillosi, da permeabili a mediamente permeabili, subacidi, parzialmente saturati
4	Roccia affiorante e suoli a profilo A-C, A-R e subordinatamente A-Bw-C poco profondi, da sabbioso franco a franco argilloso, da permeabili a mediamente permeabili, neutri, saturi
15	Profili A-Bw-C, A-C e subordinatamente roccia affiorante, da profondi a poco profondi, da franco sabbiosi a argilloso sabbiosi, da permeabili a mediamente permeabili, neutri, saturi
16	Profili A-C, A-Bw-C e A-Bk-C, da poco profondi a profondi, da franco sabbiosi a franco sabbioso argillosi, da permeabili a mediamente permeabili, da neutri a sub alcalini, saturi
25	Profili A-C e subordinatamente A-Bw-C, profondi, da sabbiosi a sabbioso franchi, da permeabili a molto permeabili, a tratti poco permeabili in profondità, da neutri a sub alcalini, saturi
34	Profili A-C, profondi, argillosi o argilloso limosi, poco permeabili, da sub alcalini a alcalini, saturi

Dunque per quanto attiene all'uso del suolo, si è fatto riferimento agli studi ed alle cartografie realizzate per la parte relativa all'assetto ambientale del P.U.C.

La Carta dell'uso del Suolo è infatti uno dei tematismi che, assieme alla Carta Geologica ed alla Carta della Acclività, vengono usate tramite la tecnica dell'overlay mapping, per ottenere la Carta della Instabilità Potenziale.

6.7. *Caratteri Idrogeologici*

Le caratteristiche idrogeologiche delle litologie presenti nel territorio di Gonnese, sono piuttosto varie e dipendono sostanzialmente dalla eterogeneità delle formazioni geologiche presenti.

Abbiamo una successione stratigrafica che va dai terreni di copertura (alluvioni, suoli, detriti) alle rocce vulcaniche (andesiti, ignimbriti, piroclastiti) alle formazioni sedimentarie del "Cixerri" (arenarie, argilliti, conglomerati) al deposito carbonifero (marne, argilliti, arenarie, livelli di carbone e calcari a milioliti) ed alle rocce paleozoiche del basamento.

Tutte queste litologie che spesso vengono a contatto anche in senso areale a causa di faglie o di processi erosivi, mostrano caratteri idrogeologici profondamente differenti.

Le coperture alluvionali ed i suoli mostrano permeabilità quasi sempre elevata soprattutto a causa della forte componente sabbiosa o della presenza di ciottoli sciolti provenienti perlopiù dallo smantellamento di livelli conglomeratici preesistenti.

Le Ignimbriti, piuttosto eterogenee sotto l'aspetto petrografico, lo sono anche sotto quello idrogeologico poiché vengono facilmente evidenziate differenti caratteristiche fra le unità compatte, cristalline e scarsamente alterate, che mostrano forme di permeabilità per fessurazione e quelle di tipo tufaceo, spesso fortemente alterate e addirittura argillificate (bentoniti) aventi comportamento impermeabile.

La Formazione sedimentaria del Cixerri mostra nel complesso di essere impermeabile per la prevalenza di argilliti, marne ed arenarie compatte ma anche in questo caso, le fratture giocano un ruolo importante determinando scorrimenti idrici verticali che incontrano spesso livelli conglomeratici permeabili con il conseguente formarsi di falde "sospese".

Il giacimento carbonifero, nel complesso impermeabile, poggia su una potente serie calcarea carsificata e sede di una importante circolazione idrica in pressione che viene attualmente intercettata ed edotta nella Miniera di Monte Sinni (Nuraxi Figus).

Il basamento Paleozoico costituito perlopiù da arenarie e siltiti rossastre cementate ha caratteristiche impermeabili.

Si osserva dunque la presenza di diversi complessi idrogeologici raggruppabili principalmente nei seguenti:

- Copertura recente
- Complesso vulcanitico
- Complesso marnoso arenaceo conglomeratico
- Complesso “Produttivo”
- Complesso carbonatico (Miliolitico)
- Complesso di base

Grado di Permeabilità relativa	Coefficienti di permeabilità
Alto	$K > 10^{-2}$
Medio Alto	$10^{-2} > K > 10^{-4}$
Medio Basso	$10^{-4} > K > 10^{-9}$
Basso	$10^{-9} > K$

La tettonica ha un ruolo importante nei rapporti fra le diverse idrostrutture, generando spesso soglie di permeabilità che determinano la nascita di bacini-serbatoio semidipendenti.

Il territorio di Gonnese è sito nella parte nord del bacino terziario e mostra in affioramento praticamente tutte le litologie della successione stratigrafica precedentemente descritta e dunque anche tutti i complessi idrogeologici presenti.

La sua posizione geografica e soprattutto la generale pendenza del bacino in oggetto verso Sud-Ovest, determinano per l'acqua superficiale e per quella profonda, direzioni di scorrimento conformi a tale pendenza; l'acqua piovana infiltrata tende ad allontanarsi dalla zona scorrendo al contatto fra i differenti termini Ignimbrici, fra questi ed il Cixerri ed all'interno del miliolitico.

L'acqua di precipitazione meteorica incontra dapprima le rocce vulcaniche parzialmente permeabili, successivamente il Cixerri arenaceo conglomeratico pressoché impermeabile, in punti ad acclività accentuata e dunque con alta velocità di scorrimento ed infine le alluvioni sabbiose di fondovalle permeabili, nelle quali infiltrandosi determinano la falda superficiale.

L'idrografia risulta influenzata dalla struttura geologica del substrato e dal regime pluviometrico; la forma del reticolo, orientato E-W può localmente variare ma perlopiù è di tipo “dendritico” con evidenti condizionamenti dovuti alla tettonica.

Le acclività della parte Nord-Est, sono spesso piuttosto elevate e ciò determina per le acque meteoriche un elevato coefficiente di corrivazione con conseguente alta capacità erosiva spesso connessa con la scarsa o nulla permeabilità dei terreni argillitico-arenacei (scisti) i quali, avendo

reagito in maniera plastica alle sollecitazioni tettoniche, presentano un ridotto indice di fratturazione che a scala locale consente solo una limitata circolazione idrica per fessurazione.

Il confluire del sistema di rii superficiali in alcune direttrici preferenziali da origine alle linee di impluvio principali come il Rio Sibasca ed il Rio Gutturu Carboni; questi hanno origine nella zona di alto morfologico e strutturale posta ad ovest-sud ovest rispetto all'abitato di Gonnese e lo attraversano creando potenziali pericoli di dissesto idrogeologico.

La vicinanza tra le aree di accumulo idrico e di potenziale esondazione (parzialmente occupata dall'abitato), nonostante la bassa (in termini assoluti) altitudine dei rilievi, crea situazioni di potenziale rischio.

Nel territorio di Gonnese i bacini idrografici presenti sono quelli costituiti dagli impluvi del "Rio Si Basca" che continua in quello di "Riu Morimenta-Sa Crabiola", e del Riu "Gutturu Carboni" che proviene dalla vallata di Seddas Moddizis e che assieme al "Riu di Gonnese" proveniente dal territorio di Iglesias, sfociano nella Palude di Sa Masa.

Esistono inoltre dei modesti impluvi come quello che passa a fianco del cimitero comunale e che porta il nome di "S'Arriu de Gravellu".

L'alveo del primo è stato recentemente regolarizzato con interventi idraulici atti ad impedire piene disastrose e la stessa strada provinciale che corre sul fondovalle proveniente da Iglesias è strutturalmente realizzata tenendo conto di tale fattore.

Nell'ultimo tratto prima della foce, esiste una ampia laguna chiamata "Sa Masa" che è attualmente in graduale interrimento e si sta trasformando in una area paludosa e spesso degradata, invasa dai canneti.

In quest'area giungono anche le acque del bacino minerario iglesiente, tramite la "galleria di scolo" cominciata nella palude di Sa Masa a quota + 2.70 che dal 1880 giunse a Monteponi nel 1909.

Questa galleria che incontrò grossi problemi idrici in corso di scavo (La Gran Sorgente di 3559 l/s), drena con curve in esaurimento le miniere collegate.

Opere di cattura esistono presso Fontana Morimenta ma, l'approvvigionamento idrico principale è costituito dalla condotta ESAF.

In conclusione, l'assetto idrogeologico dell'area è definito da due principali unità idrogeologiche quella dei depositi quaternari e del substrato roccioso paleozoico, nella parte meridionale del comune di Gonnese dalle coperture recenti, ove presenti, e le vulcaniti del ciclo effusivo Cenozoico. Dalla carta delle isopiezometriche allegata al P.U.C., risultante da studi pregressi, si evidenziano pozzi e piezometri censiti e l'andamento freatico generale ricostruito sulla base della misurazione piezometrica relativa a studi pregressi; dall'analisi dell'andamento delle isofreatiche si deduce che nell'area risulta definita una principale direzione di deflusso, cioè verso la zona costiera sabbiosa e

paludosa per gli afflussi derivanti dal contesto paleozoico. Il settore meridionale ha come lineazione principale la profonda valle di incisione lungo una importante dislocazione avente direzione est-ovest, il canale naturale impostatosi denominato “Su Gorroppu”, convoglia le acque superficiali verso il mare, secondo la stessa direzione di flusso.

E' importante sottolineare che la zona ha subito varie modificazioni antropiche (ad es. la barriera impermeabile del bacino di Sa Masa), che hanno interferito non tanto con l'assetto freatico, quanto con i volumi di scambio (acqua dolce in uscita e in entrata acqua salmastra).

In sintesi, i risultati dello studio idrogeologico effettuato nel sito e nelle aree circostanti hanno evidenziato che:

- nel territorio è presente un unico acquifero superficiale sabbioso, soprastante un acquifero profondo impostato nella roccia di substrato;
- la velocità media di deflusso della falda nell'area del bacino è molto bassa (dell'ordine di 1-2 metri all'anno);
- la falda superficiale è direttamente connessa con i corpi idrici superficiali.

6.8. *Idrologia superficiale*

L'acquifero sabbioso superficiale è costituito da sedimenti costituiti principalmente da sabbia eoliche, di età Olocenica, con rari subordinati livelli limosi, e da una coltre argilloso limosa di ambiente transizionale.

È presente dal p.c. fino ad una profondità variabile in alcuni casi superiore ai 30 m.

Questo è sede della falda libera, in diretta connessione coi corpi idrici superficiali, con soggiacenza variabile dai pochi metri dal piano campagna, tanto che affiora in corrispondenza di alcune depressioni, ad una decina di metri nella parte morfologicamente più elevata.

L'assenza di livelli impermeabili continui (i livelli limosi a modesta permeabilità infatti sono caratterizzati da geometria lentiforme) all'interno dei terreni quaternari sabbiosi di copertura, comporta che questi formino un unico acquifero libero. L'area di accumulo e afflusso idrico proviene dalla confluenza del Rio Sibasca e del Rio Peddis. In corrispondenza di queste principali delineazioni superficiali le acque superficiali si indirizzano dal quadrante centro e sud orientale (zona di accumulo), verso il naturale sbocco a mare (stagno o palude di Sa Masa).

Tutti i piezometri realizzati nel tempo, indipendentemente dalla profondità, hanno mostrato andamenti simili e tali da non fornire alcuna evidenza dell'esistenza di acquiferi separati.

La base dell'acquifero superficiale è costituita dal tetto del basamento Paleozoico composto da metarenarie e metasiltiti sostanzialmente impermeabili.

6.9. *Idrologia sotterranea*

Il basamento paleozoico rappresenta un orizzonte impermeabile quasi costante nel territorio del Comune di Gonnese, data la predominante presenza di rocce dotate di scarsa o nulla porosità e benché dotate di alta frequenza di fratturazione (essendo scisti), l'alterazione di queste rocce produce riempimenti dotati di scarsa o nulla affinità al passaggio di acqua (argille o argilliti a seconda del grado di alterazione).

In questo contesto di generale impermeabilità diffusa, la Formazione o Gruppo di Gonnese con i suoi Metacalcari e Metadolomie, si differenzia dal contesto generale essendo sede di una falda, talvolta molto profonda e quindi in pressione.

I fenomeni che permettono l'accumulo sono fondamentalmente carsici, ma non è di secondaria importanza la fratturazione indotta dagli stress post deposizionali; in ultima analisi i due fenomeni co-partecipano generando un ambiente di accumulo di primaria importanza per il territorio.

Nel settore meridionale, il mutato assetto geologico porta in risalto il basamento vulcanico Cenozoico come sede di importanti risorse idriche nei diversi livelli che lo costituiscono.

Le rocce vulcaniche presenti in profondità, per loro natura impermeabile, presentano una permeabilità secondaria legata alla presenza di linee di discontinuità.

L'Unità delle vulcaniti oligo-mioceniche presenta valori di permeabilità per fratturazione variabili da medio-bassi, a medi, a localmente medio-alti.

La variabilità della permeabilità dipende sia dalla fratturazione primaria (indotta dai meccanismi di raffreddamento e contrazione delle lave e delle ignimbriti) che da una fratturazione secondaria (provocata sia dalla tettonica che dagli eventi idrotermali).

Il movimento delle acque sotterranee avviene prevalentemente lungo la rete di macro e micro fratture generate dai meccanismi sopra descritti ed è funzione diretta della frequenza e della spaziatura delle fratture, andando a generare accumuli di interesse non tanto per la quantità, che raramente raggiunge valori prossimi a 0,50 litri al secondo, quanto per la qualità (alcuni campioni analizzati da privati hanno avuto la potabilità).

***STUDIO DI COMPATIBILITA’
GEOLOGICA GEOTECNICA E IDRAULICA***

PARTE GEOTECNICA

7. STUDIO GEOTECNICO

Nella presente parte geotecnica, saranno analizzati in dettaglio tutti gli aspetti direttamente connessi alla definizione delle caratteristiche dei substrati.

Si precisa che data la tipologia dello studio e la sua vastità, per quanto attiene alle indagini geotecniche in sito e in laboratorio, non è stata attuata alcuna campagna specifica di indagine; i dati derivano dalle numerose osservazioni e dalle indagini eseguite in diverse località del territorio di Gonnese.

Grazie alla successione stratigrafica facilmente osservabile, ai fronti di scavo e riporti presenti in diverse aree del territorio comunale, ai lavori di indagine ed alle ricerche e studi minerari (effettuati dagli stessi autori del presente lavoro), sul deposito carbonifero del Sulcis, è stato possibile trarre i dati utili al presente lavoro.

7.1. *Caratteri geotecnici dei litotipi presenti*

Sulla base delle caratteristiche geolitologiche del settore è stata effettuata una riclassificazione delle litologie ed una valutazione dello stato di aggregazione, del grado di alterazione e del conseguente comportamento meccanico che le singole unità assumono nei confronti dei possibili interventi insediativi e infrastrutturali che lo strumento urbanistico introduce.

Per quanto riguarda le litologie presenti sul territorio, il riferimento fondamentale è quello che richiama il processo di messa in posto del deposito o dell'accumulo, lo stato di addensamento, la tessitura dei materiali costituenti la fratturazione e la durezza dei litotipi.

I litotipi presenti nel territorio sono stati accorpati sulla base delle loro caratteristiche secondo la seguente classificazione:

- litotipi coerenti – vulcaniti oligomioceniche e paleozoiche, non stratificate e fratturate
- litotipi coerenti – litologie carbonatiche, stratificate e fratturate;
- litotipi coerenti – litologie arenacee, sabbiose, conglomeratiche stratificate e non fratturate;
- litotipi coerenti – marne e intercalazioni, metamorfiti stratificate e fratturate
- litotipi semi-coerenti – materiale granulare cementato o molto addensato a grana prevalentemente grossolana
- litotipi incoerenti – materiale detritico eterogeneo ed eterometrico
- litotipi incoerenti – materiale granulare sciolto o poco addensato a granulometria non definita
- litotipi incoerenti – materiale granulare sciolto o poco addensato a prevalenza grossolana
- litotipi incoerenti – materiale granulare sciolto o poco addensato a prevalenza sabbiosa

La differenziazione sopra riportata permette di definire che i settori nei quali è attualmente svolta l'edificazione come sotto riportati, sono rappresentati da:

- Centro urbano di Gonnese: litotipi coerenti rappresentati da litologie metamorfiche
- Centro urbano di Gonnese: litotipi incoerenti rappresentati da litologie alluvionali antropizzate
- Frazione di Nuraxi Figus: Litotipi coerenti rappresentati da litologie vulcaniche
- Frazione di Norman: Litotipi incoerenti rappresentati da litologie detritiche antropizzate intervallate da affioramenti di litologie carbonatiche coerenti.

I settori caratterizzati dalla presenza di elementi litoidi e coerenti di natura metamorfico-scistosa o vulcanica ed in minore misura carbonatica, sono stati spesso caratterizzati nell'ambito dei diversi progetti di edificazione.

Presentano in genere caratteristiche di resistenza elevata, compatibili con l'edificazione anche per portanze medio - elevate.

Per ciò che concerne i litotipi semi-coerenti e incoerenti, considerata l'estrema variabilità locale di tali sedimenti, è necessario effettuare una accurata caratterizzazione geotecnica atta ad individuare correttamente i parametri geotecnici necessari per le verifiche di stabilità dei pendii e di dimensionamento di eventuali opere.

L'analisi geotecnica deve essere sempre relazionata alla parte geologica al fine di individuare anche eventuali elementi geomorfologici di interesse per gli aspetti edificatori.

La successiva tabella mostra le principali caratteristiche fisico-meccaniche indicative dei litotipi presenti.

Tab. 1: parametri fisico- meccanici

Litologia	γ (t/m³)	I (% di V)	K(cm/s)	n (app.)	T (Kgp/cm²)	Φ	Resistenza a compress.(kg/cm²)
Arenaria	1.80 ÷ 2.70	1.5 ÷ 7.0	$10^{-3} \div 10^{-4}$	4 ÷ 20	80 ÷ 400	35 ÷ 50	300÷1800
Ignimbriti	2.40 ÷ 2.80		$10^{-4} \div 10^{-8}$	1 ÷ 3	200 ÷ 600	25 ÷ 55	1500÷2000
Metamorfiti - scisti	2.30 ÷ 2.70	1	$10^{-7} \div 10^{-9}$	5 ÷ 20	30 ÷ 300	15 ÷ 30	200÷1000
Calcare compatto	2.40 ÷ 2.70	2 ÷ 4	$10^{-2} \div 10^{-4}$	5 ÷ 15	150 ÷ 300	35 ÷ 50	300÷2000
Dolomia	2.40 ÷ 2.85	2 ÷ 4	$10^{-3} \div 10^{-4}$	5 ÷ 15	150 ÷ 400	35 ÷ 55	800÷2500

γ (t/m³): Peso specifico; I (% del volume): coefficiente; K: Permeabilità; n: porosità apparente ; τ : resistenza al taglio; ϕ : Angolo di attrito interno; Resistenza alla compressione

Per quanto attiene all'abitato di Gonnese, viste le tipologie litologiche presenti, si è proceduto con l'esame ed inquadramento geomeccanico dell'ammasso roccioso secondo le classificazioni di Bieniawski e di Barton.

Si è inoltre verificato il criterio di rottura per le discontinuità degli ammassi rocciosi secondo il metodo di Hoek-Brown.

Dall'esame delle risultanze emerge una sostanziale omogeneità dei terreni nell'area; la successione stratigrafica delle litologie presenti è costituita dall'alto :

- 1) Terreno superficiale antropizzato
- 2) Scisti paleozoici

La litologia prevalente è quella scistosa abbinata a detrito e suolo antropizzato.

Gli scavi per la realizzazione delle fondazioni incontra generalmente l'affioramento roccioso in tutta la zona interessata, pertanto si è dovuto effettuare un inquadramento geomeccanico secondo Bieniawsky.

Da esso si è tratta la classificazione della roccia sulla quale andrà posata la fondazione dell'opera edilizia.

Come già detto, il valore della portanza da adottare dipende dalla scelta del piano di posa ed è sempre consigliabile raggiungere la roccia di base su tutti i lati della costruzione; qualora non sia possibile, occorre dimensionare opportunamente le fondazioni.

I dati ottenuti secondo i metodi di Bieniawski e Barton, indicano per la roccia costituente la base di appoggio, classe III da "Scadente a Discreta" con RMR compresi tra 48 e 55.

Il Criterio di Rottura delle discontinuità dell'ammasso roccioso secondo Hoek-Brown, porta a valori di Coesione (C) pari a 1,29 Kg/cm² e Sforzo di Taglio (τ) pari a quasi 3,95 Kg/cm² con un angolo di attrito (ϕ) di 15°.

Secondo Barton la resistenza al taglio è superiore (7,76 Kg/cm²) e l'angolo di attrito più elevato (37,8°); con tali valori, si può adottare un valore di Q amm sempre maggiore di 2 Kg/cm².

Dovrà essere utilizzata una particolare attenzione nella scelta delle fondazioni, per evitare fenomeni di cedimento differenziale fra quelle posate nel basamento scistoso e quelle su eventuali terreni di riporto.

La soluzione migliore appare quella di basare le fondazioni (plinti) in maniera omogenea e cioè tutte sugli scisti, attraversando eventuali terreni di riporto.

Nelle aree ove il basamento roccioso d'appoggio è costituito dalle rocce vulcaniche Oligo-Mioceniche, i dati dell'inquadramento geomeccanico secondo Bieniawski, indicano classi I e II da "Buona a Ottima" con RMR compresi tra 78 ed 83; il dato viene confermato dalla classificazione di Barton con indice di qualità Q, che porta a classe Molto Buona ed RMR pari a 82,3.

Il Criterio di Rottura delle discontinuità dell'ammasso roccioso secondo Hoek-Brown, porta a valori di Coesione pari a quasi 7 Kg/cm² e Sforzo di Taglio medi pari a quasi 18,5 Kg/cm² con un angolo di attrito di 49,1°.

Secondo Barton la resistenza al taglio è inferiore (12,79 Kg/cm²) e l'angolo di attrito addirittura più elevato (52°).

Con tali valori, si può adottare un valore di Q amm sempre maggiore di 5 Kg/cm^2 .

Altre indagini eseguite ai margini del centro abitato, tramite sonda di perforazione dotata di maglio da 63,5 Kg, hanno consentito di effettuare delle penetrometrie dinamiche in foro (S.P.T.); esse consistono nella misura del n° dei colpi di maglio necessario per infiggere un campionatore cilindrico standard tipo Raymond, con punta aperta (Diametro esterno 51 mm) ogni 15 cm per 45 cm complessivi, data una altezza di caduta di 76,2 cm.

Tale prova sebbene standardizzata per le sabbie, viene effettuata anche sui terreni limo-argilloso-sabbiosi per valutarne il grado di consistenza.

I fori interessati hanno fornito i seguenti dati:

Sondaggio	Profondità	N° di Colpi
<i>S1</i>	<i>1,10-1,55 m</i>	<i>18, 21, 26</i>
<i>S1 (2°)</i>	<i>3,40-3,85 m</i>	<i>21, 41, 40</i>
<i>S2</i>	<i>1,35-1,80 m</i>	<i>10, 19, 34</i>
<i>S3</i>	<i>1,90-2,35 m</i>	<i>16, 27, 34</i>

Il dato significativo della prova, è rappresentato dalla somma del numero di colpi ottenuti negli ultimi 30 cm di avanzamento, attraverso il quale possono essere valutate importanti caratteristiche geotecniche dei terreni; ad esempio per quelli sabbiosi, il valore dell'angolo d'attrito. Attraverso vari metodi interpretativi, come la formula giapponese di Shioi – Kukuni del 1982 $\phi = \sqrt{15 \times N_{30SPT}} + 15$ o il metodo grafico di Peck-Hanson-Thornburn si ottiene:

Sondaggio S.1 :		
Prova a - 1.10 ÷ 1.55 m.	N spt = 47	$\phi \cong 40^\circ$
Prova a - 3.40 ÷ 3.85 m.	N spt = 81	$\phi > 40^\circ$
Sondaggio S.2 :		
Prova a - 1.35 ÷ 1.80 m.	N spt = 53	$\phi > 41^\circ$
Sondaggio S.3 :		
Prova a - 1.90 ÷ 2.35 m.	N spt = 61	$\phi > 33^\circ$

Dai carotaggi esplorativi, alle profondità adatte, sono stati prelevati dei campioni di terreno; tali campioni sono stati imbustati, ed avviati al laboratorio geotecnico.

In laboratorio, sono stati sottoposti ad esame n° 2 campioni, successivamente preparati per l'analisi che è consistita nella prova di taglio diretto in condizioni consolidate - non drenate che in questo caso, è risultato essere il più adatto alla situazione litologica riscontrata.

Su altri campioni è stata effettuata la classificazione delle terre con i “Limiti di Atterberg” e la determinazione del Peso di Volume.

Al termine delle prove di laboratorio sono stati elaborati ed interpretati i dati ottenuti ottenendo le portanze dei terreni e la loro classificazione.

Le litologie presenti mostrano in condizioni drenate buone caratteristiche di portanza ma, tendono nelle parti finemente detritiche ed argillose in presenza d’acqua ad assumere caratteristiche più scadenti.

Per la valutazione della portanza ammissibile (Q_a), sono stati utilizzati i valori di angolo di attrito e coesione ricavati dalle prove di taglio diretto eseguite.

Utilizzando la formula di Brinch – Hansen per una fondazione a base quadrata di 1 m x 1 m, con un piano di posa a 1.80 m dal p.c. si ottiene un valore tra i 2,7 ed i 4,4 Kg/cm²:

7.2. Scavi e stabilità delle pareti

Per quanto attiene alle modalità operative per la realizzazione di eventuali opere, si evidenzia che gli interventi di scavo in area urbana o di rimodellamento di pendii, dovrebbero sempre essere preceduti da idonee progettazioni geologiche e geotecniche, che forniscano gli appositi parametri di progetto sulla base di specifiche indagini in situ e laboratorio.

Sono fondamentali, la scelta delle pendenze di sicurezza da assegnare al profilo degli scavi; queste dipendono dalla resistenza al taglio del terreno, dall’altezza dello scavo e dalle condizioni di circolazione delle acque sotterranee.

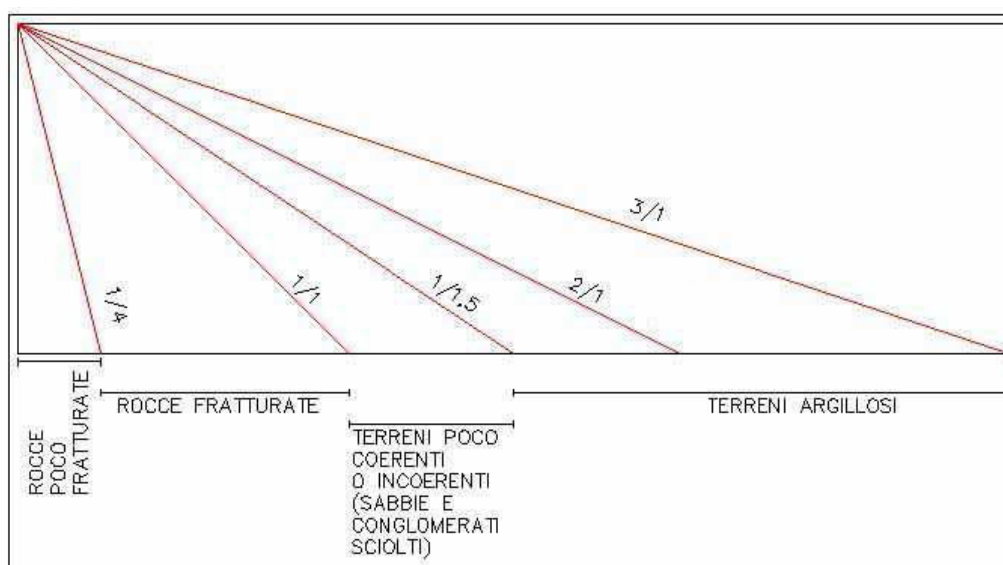
Naturalmente per gli interventi di scavo aventi profondità inferiore ad 1 metro, realizzati perlopiù su terreni di riporto o orizzonti pedologici a diversa consistenza e natura, può non essere necessario (tranne rari casi) l’utilizzo di opere di sostegno delle pareti.

Gli approfondimenti e gli interventi che interessano profondità maggiori a quelle indicate o comunque interventi su pendii, necessitano di un allargamento dello scavo e se tale allargamento interessa litologie “coerenti” in genere, non sussistono problematiche in relazione alla stabilità delle pareti nel breve periodo mentre, su sedimenti semicoerenti o incoerenti diventa d’obbligo sostenere opportunamente lo scavo.

Si ritiene che anche quando si riscontri una buona coesione dei sedimenti terrigeni, nei casi in cui debbano essere effettuate lavorazioni che comportano tempistiche abbastanza lunghe di esecuzione, si consiglia la protezione dello scavo con sistemi idonei; si ritiene inoltre buona regola la rimozione degli strati superficiali dal punto di vista geotecnico più scadenti.

L'apertura di uno scavo altera sempre la pendenza naturale delle scarpate e crea le condizioni per l'incremento degli sforzi di taglio, portando alla creazione di superfici di rottura e quindi al cedimento dello scavo.

Si riporta di seguito un grafico indicante l'inclinazione delle scarpate, in funzione delle diverse litologie, ricavato dalla letteratura ed originato dall'esperienza acquisita sul comportamento dei pendii in differenti tipi di terreno.



Si osservi come in caso di interventi su roccia (come in gran parte dell'abitato di Gonnese), possano essere consigliate pendenze di 1/4.

Per le aree maggiormente terrigene le pendenze devono essere quantomeno pari a 1/1.

Per i pendii naturali o artificiali in zona sismica, le norme vigenti hanno introdotto nuove disposizioni che consentono l'uso di metodi di verifica pseudo-statici già noti (Fellenius, Bishop, Espinoza etc.), che assieme a metodi di analisi dinamica, valutino nel modo opportuno le azioni indotte dalle vibrazioni sismiche.

Per i parametri di resistenza a taglio del terreno si possono in generale usare i valori applicabili in condizioni statiche non drenate.

Per i terreni coesivi il parametro appropriato è la coesione non drenata c_u , eventualmente modificata per tener conto dell'elevata velocità di applicazione del carico e degli effetti di degradazione ciclica sotto sollecitazione sismica (ove tale modificazione sia necessaria e suffragata da dati sperimentali adeguati).

Per i terreni non coesivi, il parametro di resistenza appropriato è la resistenza a taglio ciclica non drenata, che tiene conto dell'eventuale incremento di pressione interstiziale.

Quest'ultima o la perdita di rigidità del terreno, vanno valutati in generale mediante prove sperimentali riferite alle effettive condizioni iniziali.

7.3. Portanza ed analisi dei Pendii

La verifica di portanza nella realizzazione di opere ed infrastrutture va effettuata realizzando apposite relazioni geologiche e geotecniche, per'altro obbligatorie per ogni intervento infrastrutturale pubblico e privato, accompagnate e supportate da indagini geotecniche in situ ed in laboratorio.

Nel Luglio 2009 sono entrate in vigore le nuove norme NTC 2008; le relazioni e le indagini devono essere eseguite in conformità alla normativa vigente (Norme Tecniche sulle Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008) che definisce i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni.

E' necessario fare riferimento alla Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 C.S.LL.PP. (G.U. n. 47 del 26 febbraio 2009 - S.O. n. 27) - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

In particolare si segnala il punto 2.7 del D.M. 2008 secondo il quale, sebbene sia obbligatorio l'utilizzo del metodo di calcolo agli stati limite definito nel punto 2.6 della normativa, è ammesso che per le costruzioni di tipo 1 e 2, e Classe d'uso I e II, limitatamente a siti ricadenti in Zona 4, il metodo di verifica alle tensioni ammissibili.

Per tali verifiche si deve fare riferimento alle norme tecniche di cui al D.M. LL. PP. 14.02.92, per le strutture in calcestruzzo e in acciaio, al D.M. LL. PP. 20.11.87, per le strutture in muratura e al D.M. LL. PP. 11.03.88 per le opere e i sistemi geotecnici.

Fanno dunque eccezione all'imposizione citata le costruzioni di tipo 1 ($VN \leq 10$ anni) e tipo 2 ($50 \text{ anni} \leq VN < 100$ anni) e Classe d'uso I e II, purchè localizzate in siti ricadenti in Zona 4; per esse è ammesso il metodo di verifica alle tensioni ammissibili, da applicare utilizzando i riferimenti normativi riportati nelle NTC.

Per l'identificazione della zona sismica in cui ricade ciascun comune o porzione di esso, occorre fare riferimento alle disposizioni emanate ai sensi dell'art. 83, comma 3, del DPR 6.6.2001, n. 380.

La Sardegna e dunque il Comune di Gonnese, ricade in zona 4 e quindi è ammesso il calcolo e la verifica con le tensioni ammissibili quando l'opera in progetto venga classificata di tipo 1 e 2 così come indicato nella apposita tabella 2.4.I del decreto.

Se si utilizzano i metodi di calcolo alle tensioni ammissibili, le verifiche potranno essere eseguite con i diversi sistemi messi a punto dai vari autori, che presuppongono un comportamento del terreno di tipo rigido-plastico con rottura di tipo generale.

Di seguito sono riportate le espressioni di calcolo secondo i metodi seguiti da Terzaghi, Meyerhof, Brinch-Hansen sia per il carico ammissibile che per i cedimenti.

Le verifiche possono essere eseguite considerando ancora la normativa base del D.M. 11/03/88 nelle tipologie di classi sopraelencate.

I metodi di calcolo della capacità portante per una fondazione superficiale sviluppati dai vari autori presuppongono un comportamento del terreno di tipo rigido-plastico con rottura di tipo generale.

Per tenere conto dei casi di rottura locale si possono seguire le indicazioni di Terzaghi (1943) riducendo angolo d'attrito e coesione o di Vesic (1943) applicando dei fattori correttivi all'equazione del carico limite.

Per ciò che concerne l'applicazione della nuova normativa si evidenzia che la novità fondamentale riguarda non solo la definizione dei valori caratteristici ma anche la definizione della resistenza di progetto che deve essere inferiore a quella di E_d .

I punti fondamentali della verifica geotecnica nelle nuove norme sono quindi i seguenti:

- determinazione dei valori caratteristici dei parametri di progetto
- scelta del DA (Approccio di progetto 1 o 2); determinazione di R_d (Stati limite ultimi)
- determinazione di S_c (cedimenti caratteristici) negli stati limite di esercizio;
- verifica disequazione: $E_d \leq R_d$, $E_d \leq C_d$.

Per ciò che concerne l'analisi di stabilità dei pendii, in base alla nuova normativa si osservano le seguenti distinzioni:

- pendii naturali: si utilizzano i valori caratteristici, non sono specificati nella normativa gli approcci di progetto (ossia a parte l'utilizzo dei valori caratteristici la procedura rimane simile a quella del D.M. 11.03.1988)
- pendii artificiali, rilevati, fronti di scavo: si utilizza totalmente il nuovo metodo NTC.

E' fondamentale il fatto che il vecchio coefficiente di sicurezza nelle verifiche pseudo - statiche è ora sostituito dal rapporto R_d/E_d che deve avere un valore minimo definito dal progettista secondo i dettagli inerenti ogni singola verifica; in coerenza con quanto definito dalla circolare esplicativa 30483 del D.M.11/03/1988.

Secondo le NTC sono tre i metodi possibili di verifica:

- metodi pseudo statici
- metodo degli spostamenti (Newmark etc)
- Analisi dinamica avanzata (FEM etc)

8. ANALISI DELLA INSTABILITA' POTENZIALE DEI VERSANTI E PERICOLOSITA' DA FRANA NEL TERRITORIO DI GONNESA

8.1. Premessa

Tale analisi è volta a valutare la compatibilità geologica, geotecnica del P.U.C. (quindi delle trasformazioni previste a livello urbanistico), con le indicazioni riportate nel Piano di Assetto Idrogeologico.

Tramite l'osservazione diretta degli eventuali dissesti visibili, integrata con le caratteristiche di natura litologica, tettonica, geomorfologica, idrogeologica, climatica e con le influenze antropiche, è stato possibile effettuare un confronto incrociato dei fattori predisponenti la franosità.

Si è utilizzata la tecnica **dell'overlay mapping** (sovrapposizione cartografica dei tematismi) al fine di definire le cause determinanti l'instabilità e realizzare la **Carta della Instabilità Potenziale**.

Il lavoro è stato fatto utilizzando le carte tematiche di base (Geolitologica, Acclività ed Uso del Suolo), realizzate per il P.U.C.

In tal modo è stato possibile comprendere tipo, modalità e dinamica evolutiva dei principali fenomeni franosi, analizzando in dettaglio i fenomeni esistenti, tramite la osservazione diretta o analizzando le aree nelle quali a seguito dell'overlay mapping, sono apparse (con vario grado di pericolosità), indicazioni di potenziale franamento del settore.

La descrizione morfologica ha evidenziato quali siano i principali processi agenti, così come l'analisi degli altri fattori, ha messo in luce la presenza di un territorio limitatamente e variamente boscato, soprattutto nelle aree montane e collinari, ove si rileva in genere, una acclività medio-elevata.

Questo territorio è interessato da fenomeni di franamento attivi in prossimità degli affioramenti rocciosi ed in particolare, nelle creste calcaree, nelle cornici dei tavolati e pianori ignimbrici e nelle coltri detritiche.

Tali fenomeni sono presenti inoltre, nelle aree direttamente o potenzialmente interessate da interventi antropici di viabilità in area di falesia e comunque in aree soggette a forti processi erosivi.

8.2. *Caratteristiche generali delle fenomenologie franose*

Il grado di instabilità del territorio deriva dalla presenza e dall'interazione di diverse cause e fattori che e quindi necessario determinare con precisione.

Sono stati individuati alcuni gruppi di cause o fattori connessi all'instabilità; questi fattori predisponenti, sulla base delle affinità genetiche sono: cause geologiche, cause geomorfologiche, cause idrogeologiche, cause climatiche e cause antropiche (uso del suolo).

Le "cause geologiche" (litologia e tettonica), comprendono le caratteristiche composizionali, tessiturali, lito-stratigrafiche e strutturali che condizionano il comportamento geomeccanico e in generale le condizioni di instabilità.

Nel territorio oggetto di indagine ed in cui è stata valutata la pericolosità, si possono distinguere diverse unità geolitologiche fondamentali per diversi gradi di coesione e durezza.

Il comportamento geomeccanico di ogni corpo geologico dipende dalla interazione tra i suoi caratteri lito-stratigrafici e gli eventi tettonici che tale corpo ha subito e la suddivisione in unità litotecniche operata, ognuna caratterizzata da uno specifico comportamento nei confronti della franosità e dell'erosione, è frutto della considerazione congiunta di questi due fattori.

La dinamica evolutiva e la attuale conformazione del territorio è frutto dei diversi i processi geomorfologici che si sono succeduti nel tempo.

Nell'area di studio la dinamica geomorfologica è intensa in gran parte delle aree montane e collinari, specie sui bordi delle aree carbonatiche, ma anche sulle testate di strato dei pianori (cuestas) delle litologie Ignimbriche.

Moderati processi erosivi di pianura sono invece legati alla dinamica fluviale e a processi erosivi su versanti e scarpate.

La maggiore erodibilità delle formazioni si manifesta a carico sia delle metamorfiti che delle litologie marnose ove presenti; mentre quella della successione calcarea è condizionata dalla giacitura e dall'erosione differenziale che agisce specie a contatto con le arenarie e con le formazioni quarzifere filoniane ed in ammasso.

Laddove i calcari sono interessati da sistemi di fratturazione, si determina il crollo delle compagini rocciose.

Ciò ha dato luogo all'accumulo di materiale detritico (di volumetria anche elevata) a seguito di ripetuti crolli rocciosi, che si è depositato nelle principali vallecule ed al piede dei versanti.

Essendo presenti aree con angoli di pendio elevati e quindi spesso in condizioni di forte instabilità, come accade nella area di Norman - Monte San Giovanni, sino ai margini dell'abitato di Gonnese

(cimitero), tali accumuli o blocchi isolati sono piuttosto frequenti e costituiscono un pericolo potenziale non previsto dal PAI vigente.

I fenomeni in atto all'interno delle compagini rocciose descritte, si possono ricomprendere nel termine: "frane di crollo"; esse possono avere forma accelerata, aggravata o catastrofica, a causa di aumento degli sforzi di taglio, diminuzione della resistenza d'attrito, e della coesione.

La maggior parte dei litotipi calcarei oggetto di crollo presenta caratteristiche di durezza e compattezza ma, i singoli ammassi sono talvolta interessati da più famiglie di fratture verticali, sub-verticali, sub-orizzontali, ad andamento vario, curvilinee o inclinate con giunti talvolta abbastanza larghi, che delimitano blocchi separati dal resto dell'ammasso.

Sotto l'azione di spinte eccessive o per diminuzione della resistenza al taglio lungo le discontinuità, può verificarsi il movimento di tipo gravitativo.

Queste problematiche di distacco, interessanti gran parte degli ammassi rocciosi, coinvolgono in particolare le cornici e le creste.

Ai fattori predisponenti, associati alle condizioni delle intersezioni delle lineazioni, delle condizioni idrauliche (per circolazione superficiale) dei giunti, dalla generale geometria del versante, vanno associati quei fattori scatenanti rappresentati, oltre che dalla gravità, dall'azione ciclica di gelo e disgelo, dagli sbalzi termici per effetto dell'esposizione, dalla presenza di vegetazione che colonizzando le fratture esercita una continua pressione sulle discontinuità etc.

Da ciò deriva una situazione di instabilità potenziale in tutti i settori esterni degli affioramenti calcarei e più in generale rocciosi.

In funzione delle caratteristiche strutturali dell'ammasso vengono definite diverse tipologie di instabilità associate alla fase di distacco:

- **plane failure** (scivolamento lungo un piano inclinato): piano di discontinuità meno inclinato del pendio (in condizioni di franapoggio); per il verificarsi di un movimento di questo tipo sono richieste condizioni di sub-parallelismo tra la direzione della discontinuità ed il fronte della parete in esame in un range di $\pm 30^\circ$ (fenomenologia poco diffusa).
- **Wedge failure** (scivolamenti di cunei di roccia): la formazione di un cuneo di roccia può verificarsi quando due discontinuità si intersecano e la loro linea di intersezione emerge sul piano del versante (fenomenologia poco diffusa).
- **Toppling failure** (ribaltamento di blocchi): Si può verificare nel caso di discontinuità con direzione quasi parallela a quella del versante, in un range di $\pm 30^\circ$ ma con direzione opposta di immersione a 180° e linea di massima pendenza molto inclinata.

• **Rotture:** nelle quali il piano di scivolamento non coincide con le superfici di discontinuità perché l'ammasso roccioso è molto fratturato o la roccia è caratterizzata da un basso valore di resistenza.

Il materiale così prodotto è soggetto successivamente a fenomeni di caduta libera, seguiti da impatti, proiezioni, rimbalzi, scorrimenti, in genere scarsamente interagenti tra loro.

A seconda delle condizioni morfologiche della base, si avranno anche fasi di urto regolate dal coefficiente di restituzione normale e tangenziale al pendio nel punto di impatto; coefficiente che è funzione di:

- massa e forma del corpo;
- angolo di incidenza;
- proprietà meccaniche del corpo e del materiale presente sul pendio;
- velocità di traslazione e di rotazione del corpo.

Localmente può verificarsi successivamente, una fase di rotolamento che è direttamente connesso all'acclività del pendio e all'angolo di attrito dinamico del blocco; tale rotolamento può esplicarsi quando il diametro del blocco è molto maggiore della scabrosità del pendio.

Le traiettorie che ne derivano possono essere molteplici e dipendono sia dalle caratteristiche del blocco che da quelle del pendio, (inclinazione ed irregolarità, tipologia, densità e caratteristiche degli ostacoli presenti, caratteristiche meccaniche).

In genere comunque il materiale si accumula immediatamente alla base del versante.

L'arresto infatti può avvenire per progressiva diminuzione dell'energia cinetica del blocco o per impatto diretto con superfici diverse o per semplice adagiamento sulla superficie inferiore in caso di terrazzo antistante.

Nell'ambito delle coperture detritiche o delle litologie marnose sono invece diffusi scivolamenti rotazionali, colamenti etc. e tali fenomenologie sono attive in funzione della pendenza e della quantità d'acqua all'interno delle coltri.

Riguardo le tipologie e le attività con le quali si può manifestare un evento franoso, secondo (Working Party on World Landslide Inventory -1993, 1994), una frana si può classificare come:

- **in avanzamento** - se la superficie di rottura tende a propagarsi nella direzione di movimento;
- **retrogressiva** - se la superficie di rottura si propaga in senso opposto a quello di movimento del materiale spostato;

- **confinata** - se pur essendo presente una scarpata non è visibile o sviluppata la superficie di scorrimento al piede della massa spostata;
- **costante** - se il materiale instabile continua a muoversi senza apprezzabili variazioni della superficie di rottura e del volume di materiale spostato;
- **in allargamento** - se la superficie di rottura tende a propagarsi verso uno o entrambi i fianchi.

Sono diversi i meccanismi di movimento definiscono una frana; essa si può classificare come:

- **complessa** - se caratterizzata dalla combinazione, in sequenza temporale, di due o più tipi di movimento (es. crollo, ribaltamento, colamento o flusso);
- **composita** - se caratterizzata dalla combinazione di due o più tipi di movimento (crollo, ribaltamento, colamento o flusso) simultaneamente in diversi settori della massa spostata;
- **successiva** - se è caratterizzata da un movimento dello stesso tipo di un fenomeno precedente e adiacente, in cui però le masse spostate e le superfici di rottura si mantengono ben distinte;
- **singola** - se caratterizzata da un singolo movimento del materiale spostato;
- **multipla** - se si tratta della ripetizione molteplice dello stesso tipo di movimento.

Oltre alla definizione dei movimenti franosi, così come sopra descritta, si sottolinea che il progressivo aumento della pendenza di un versante corrisponde in genere ad un aumento del suo grado di instabilità a causa della accelerazione dei processi che favoriscono l'erosione superficiale. L'incrocio dei fattori litologici (geologici) e quelli geomorfologici (specie dell'acclività) consente in prima analisi la definizione delle instabilità potenziali; ossia la propensione o vocazione naturale dei versanti alla stabilità o instabilità; vocazione non influenzata direttamente o indirettamente dall'attività umana.

Le indicazioni di pericolosità ottenute e state relazionate con le previsioni urbanistiche in modo da definire e pianificare lo sviluppo territoriale sulla base della sicurezza del territorio medesimo ed eliminando eventuali previsioni incompatibili con gli indirizzi di piano già definiti.

Successivamente in fase di Variante al PAI, sarà derivata la Carta del Rischio da Frana, basata sulla carta degli elementi a rischio (omogenei anche per la parte idraulica) secondo le metodiche indicate già nello studio del PAI.

8.3. Tecnica dell'Overlay Mapping

Alle diverse cartografie realizzate in funzione delle Linee Guida del P.A.I., sono stati attribuiti i pesi al fine di definire la carta dell'Instabilità Potenziale.

Questa carta è stata ottenuta con la tecnica dell'Overlay Mapping, sovrapponendo con i relativi pesi, dapprima la carta della **Litologia** con quella della **Acclività** ed il risultato ottenuto, con la carta dell' **Uso del Suolo**.

Si sono determinate le classi di instabilità potenziale per le diverse aree perimetrate attraverso la sommatoria dei pesi effettuata sulla base della sovrapposizione delle carte.

8.3.1. La Carta Geolitologica

Per ciò che riguarda la carta delle litologie per l'attribuzione dei pesi si è fatto riferimento alle principali metodologie riportate in bibliografia e alla conoscenza diretta delle caratteristiche dei litotipi affioranti nel territorio di studio.

Sulla base delle Linee Guida del P.A.I. e della cartografia geologica del territorio comunale di Gonnese, sono stati attribuiti i pesi alle formazioni geologiche affioranti nel territorio di studio.

Tab. n° 2: Definizione del peso in funzione delle classi Litologiche

SIGLA	DESCRIZIONE LITOLOGICA	PESI PAI
GNN2	Membro del Calcare Ceroide	8
GNN1	Membro della Dolomia Rigata	8
GNN2a	Litofacies Dolomia Grigia	8
PTX-OSI	Formaz. Di Portixeddu-Metasiltiti e metargilliti	4
CAB	Formaz. Di Cabitza	4
CPI	F. di Campo Pisano- Calcari Nodulari	4
AGU	Puddinga – F. di Monte Argentu	4
Fq - Fb	Filoni di quarzo, Diabasi e Basalto	7
h1m	Discariche minerarie	0-1
H1r	Discariche bonificate e riporti	2
a	Depositi di versante-Detrito di falda	1-3
b	Depositi alluvionali -Olocene	4-5
d	Depositi eolici - Dune	2-3
g	Depositi di spiaggia antichi (Dune del WURM)	3
g2	Depositi di spiaggia, Sabbie e ghiaie,talvolta con molluschi (Olocene)	3
PVM1	Panchina Tirreniana	3-4
PVM2b	Litofacies nel S. di Portoscuso(S.di P.) Sabbie e arenarie eoliche con sub. Detriti e dep. Alluv.	3
pa	Porfidi quarziferi	6-7
NEB1	Formazione di Nebida - Matoppa: metarenarie	5-6
NEB2	F. di Nebida- M. di Punta Manna: metarenarie	6
CNM	Daciti di Corona Maria	7

GNR	Conglomerati di Monte Genere	3
LNZ	Daciti di Lenzu	7
AQC	Daciti di Acqua Sa Canna	3
SRC	Rioliti di Seruci	7
NUR	Rioliti di Nuraxi	7
CIA-CBU	Flussi Piroclastici di Conca Is Angius	3
CIX	Formazione del Cixerri	4
GPI	Formazione di Guardia Pisano	4
LGN	Formazione del Lignitifero	4
MLI	Calcari a Miliolidae "MILIOLITICO"	4
MUK1	Membro di "Su Grifoneddu"- Muschelkalk	6
MUK2	Membro di "Su Passu Malu"	6

La tabella n° 2 riporta nella prima colonna il riferimento alla sigla utilizzata nell'ambito delle Linee guida, nella seconda colonna la descrizione delle litologie, nella terza colonna il peso attribuito alla formazione.

8.3.2. La Carta delle Acclività

Ai fini della definizione della **Carta dell' Instabilità Potenziale dei Versanti**, alla acclività, sono stati assegnati dei pesi tratti da quelli indicati nelle linee guida del P.A.I.; nella seguente tabella sono riportate le varie classi di pendenza e il peso corrispondente.

Tab. n° 3: Pesi attribuiti alle diverse classi di acclività

Classi di Pendenza		Peso P.A.I.	Classe P.P.R
I	0-10%	+2	A2-A3
II	11-20%	+1	A4
III	21-35%	0	A5
IV	36-50%	-1	A6
V	>50%	-2	A7-A8

Si è verificato inoltre l'accorpamento ai fini della successiva fase di overlay mapping, di tutte le pendenze inferiori al 20%; per tale range di pendenze, 0-10% e 11-20% indipendentemente dai valori assunti dalla litologia e dall'uso del suolo, risulta piuttosto improbabile dal punto di vista tecnico il verificarsi di fenomenologie franose.

Tale scelta progettuale è stata ritenuta valida e se ne auspica in futuro l'adozione in forma ufficiale, poiché in alcuni casi, l'influenza dei fattori litologico e di uso del suolo, porta ad attribuire valori di pericolosità media o addirittura elevata anche ad aree pianeggianti, che si possono al contrario ritenere ragionevolmente caratterizzate da scarsa probabilità di manifestazioni franose.

Ciononostante in ossequio alle linee guida ufficiali, si è tenuto conto delle classi indicate dalle stesse.

8.3.3. *Carta dell'Uso del suolo*

Per ciò che riguarda la Carta dell'uso del suolo è stata utilizzata come base di riferimento su cui lavorare, la Carta redatta nell'ambito del recepimento del P.P.R. da parte del Comune di Gonnese.

La metodologia P.A.I. considera diverse classi d'uso del suolo in base alla loro attitudine ad impedire il dissesto stesso.

Le diverse classi d'uso vengono raggruppate in cinque gruppi ai quali viene attribuito un peso che va da un valore di impedenza – 2 (in cui l'impedenza ai movimenti franosi è nulla) ad un valore +2 (in cui l'impedenza è massima).

Nella tabella n° 4 secondo quanto previsto dalle Linee guida del P.A.I. sono riportate le varie tipologie, classi e il peso corrispondente.

Vengono riportate nella successiva Tab. 4 le classi d'uso individuate nel territorio in esame.

Tabella n° 4 – Definizione del peso in funzione delle classi di UDS

Tipologia	Classe	Impedenza	Peso
Tipologia 1	Classe CORINE-Land Cover: 311-312-313 - Boschi a latifoglie, conifere o misti	massima	+2
Tipologia 2	Classe CORINE-Land Cover: 324-322 - Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione; brughiere e cespuglietti	buona	+1
Tipologia 3	Classe CORINE-Land Cover: 321-231-222 - Aree a pascolo naturale, prati stabili, frutteti	mediocre	0
Tipologia 4	Classe CORINE-Land Cover: 111-121 - Tessuto urbano continuo, aree industriali e commerciali	mediocre	0
Tipologia 5	Classe CORINE-Land Cover: 122 - Rete stradale extraurbana	minima	-1
Tipologia 6	Classe CORINE-Land Cover: 242 - Sistemi colturali particellari complessi	minima	-1
Tipologia 7	Classe CORINE-Land Cover: 332 - Rocce nude	nulla	-2

Tabella n° 5 –Classi di UDS individuate nel territorio e relativi pesi

Classi di Uso del Suolo	Pesi
Aree a pascolo naturale	+1
Aree portuali	0
Aree con vegetazione rada (333)	0
Aree estrattive (131)	-2
Aree ricreative e sportive	0
Boschi di conifere (3121)	+2
Boschi di latifoglie (3111)	+2
Boschi misti	+2
Cespuglieti ed arbusteti	+1
Cimiteri (143)	0
Colture agrarie (243)	-2
Fabbricati rurali (1122)	0
Gariga (3232)	+1
Macchia mediterranea (3231)	+2
Oliveti (223)	0
Pareti Rocciose e Falesie (332)	-2
Prati artificiali (2112)	-2
Prati stabili	0
Reti stradali e spazi accessori (1221)	-1
Seminativi in arre non irrigue (2111)	-2
Seminativi in arre irrigue (2111)	-1
Vigneti (221)	-2
Spiagge di Ampiezza Superiore a 25m (3311)	-2
Fiumi, Torrenti e Fossi	-2
Lagune, Laghi e Stagni Costieri a Prod. Ittica Naturale	-2
Aree a ricolonizzazione artificiale (3242)	0
Aree dunali (3313)	-2
Aree industriali e commerciali	0
Bacini naturali (5121)	-2
Frutteti e Frutti minori (222)	0
Paludi salmastre	-2
Tessuto urbano continuo (11)	0+1
Tessuto urbano discontinuo	0+1

8.3.4. Carta dell'Instabilità Potenziale dei versanti

Dall'incrocio dei fattori indicati, attribuendo i pesi necessari alla litologia, alla pendenza dei versanti, all'uso del suolo e a tutte le variabili studiate, è stato possibile definire le 5 classi teoriche del territorio analizzato, che vanno da condizioni di instabilità massima a condizioni di stabilità. Sulla base delle metodologie indicate nelle linee guida del P.A.I., è stata realizzata la carta dell'Instabilità Potenziale dei Versanti secondo le pesistiche indicate.

Risulta evidente che talvolta, la rispondenza del modello con tali pesistiche, non è del tutto conforme alla realtà dei luoghi ed in particolare alle aree sub pianeggianti.

Questa carta ottenuta con la tecnica dell'Overlay Mapping, seguendo la procedura sopra indicata, ha portato alla determinazione delle classi di instabilità potenziale per le diverse aree perimetrate.

Tab. n° 6 – Classi di instabilità secondo le Linee Guida del P.A.I.

Classe di instabilità	Descrizione	Peso		Hg PAI
		Da	A	
1	Situazione potenzialmente stabile	10	12	Hg1
2	Instabilità potenziale limitata	7	9	
3	Instabilità potenziale media	4	6	Hg2
4	Instabilità potenziale forte	1	3	Hg3
5	Instabilità potenziale massima	-3	0	Hg4

9. CLASSI D' INSTABILITA' POTENZIALE NEL TERRITORIO DI GONNESA

Seguendo le indicazioni delle Linee Guida del P.A.I., si sono determinate le classi di instabilità potenziale per le diverse aree del territorio; sulla base della cartografia ottenuta vengono individuate le seguenti aree aventi classi elevate di Instabilità Potenziale:

- Aree di Norman e Monte San Giovanni
- Strada Provinciale Litoranea per Nebida
- Strada Provinciale litoranea per Portoscuso
- Area di Monte Uda;
- Orli di cuestas dei pianori ignimbrici

Per ciò che concerne le aree già inserite all'interno del P.A.I. approvato sono stati riportati fedelmente i limiti sulla cartografia.

La metodologia operativa descritta precedentemente (Overlay Mapping) porta talvolta, tramite l'utilizzo dei pesi indicati dalle linee guida, ad una serie di risultati di instabilità potenziale che non

trovano riscontro oggettivo sia nelle cartografie disponibili (P.A.I. ed IFFI), che nel più realistico e dettagliato esame di campagna.

A titolo esemplificativo, si porta all'attenzione, il risultato ottenuto nell'area del rimboschimento dunare di Fontanamare-Plagemesu dove, a causa della pesistica relativa alle spiagge e campi dunari, seppure in presenza di acclività bassissime (0 - 10%) si ottiene localmente un "improbabile" valore di Instabilità potenziale forte e talvolta massima.

Al contrario, in aree dove sono presenti orli di scarpata o creste rocciose relative a litologie competenti, caratterizzate da pesi elevati, si ottengono classi di instabilità bassa non corrispondenti alla reale situazione in quanto, la acclività, la fratturazione presente e la stessa morfologia delle pareti rocciose o la presenza di pregresse attività minerarie, indica la probabilità del potenziale verificarsi di distacchi e crolli.

Esempi di tale situazione, sono localizzati soprattutto nel settore costiero in corrispondenza degli orli di cuestas dei pianori ignimbrici (Monte Genere) e nel settore minerario di Monte San Giovanni.

Altra situazione riscontrabile è quella relativa ad aree ove sono presenti discariche minerarie (Esempio Terras Collu); infatti si osserva la presenza di corpi discarica residui (in quanto spesso asportati negli anni) che, a causa del basso peso loro attribuito, seppure in presenza di substrato roccioso ed acclività bassa, portano a livelli di Instabilità Potenziale alta che non trovano riscontro oggettivo.

Una ulteriore situazione è quella dovuta alla impossibilità della tecnica utilizzata di evidenziare i fenomeni puntuali, come ad esempio si osserva nelle pendici occidentali del Monte San Giovanni dove, blocchi rocciosi di dimensioni spesso elevate (sino a 20m³), in condizioni di evidente instabilità potenziale, non vengono rilevati.

Pertanto solo grazie all'integrazione con le informazioni derivanti dalla carta geomorfologica, e con l'esame sul campo, è stato possibile successivamente, realizzare la Carta della Pericolosità da Frana e le relative fasce di influenza.

10. LE AREE DI PERICOLOSITA' PER FRANA NEL TERRITORIO DI GONNESA (FASE I)

Successivamente si è proceduto al confronto degli elementi aggiuntivi emersi nello studio di dettaglio ed alla integrazione con le altre cartografie inerenti i fenomeni franosi ed in particolare è stata redatta secondo le linee guida regionali, una **Carta Geomorfologica** contenente al suo interno i dati inerenti:

10.1. *Fenomeni franosi*

La carta dei fenomeni franosi è stata redatta esaminando i dati del PAI vigente, assieme ai progetti IFFI e AVI integrati da rilievi e sopralluoghi sul campo, secondo quanto richiesto all'interno delle Linee guida del P.A.I.

10.2. *Pericolosità da Crolli e Ribaltamenti*

Sono state individuate e perimetrate le aree di cresta e le falesie potenzialmente interessate da eventuali crolli, ribaltamenti e scivolamenti diffusi, attivi o potenziali di blocchi che, come detto più volte, è la tipologia franosa presente nell'area studiata.

Si è inoltre estesa l'area di frana a tutta quella parte di versante esposta alle probabili traiettorie di crollo e rotolamento di blocchi.

10.3. *Pericolosità da colate detritiche*

Sono state individuate e perimetrate le aree interessate dalla presenza di vallecole e canali ove si sia verificato l'accumulo di detriti.

In tal modo si è potuta realizzare la Carta delle Aree di Pericolosità da Frana (Hg) secondo lo schema sottostante indicato dalle linee guida RAS:

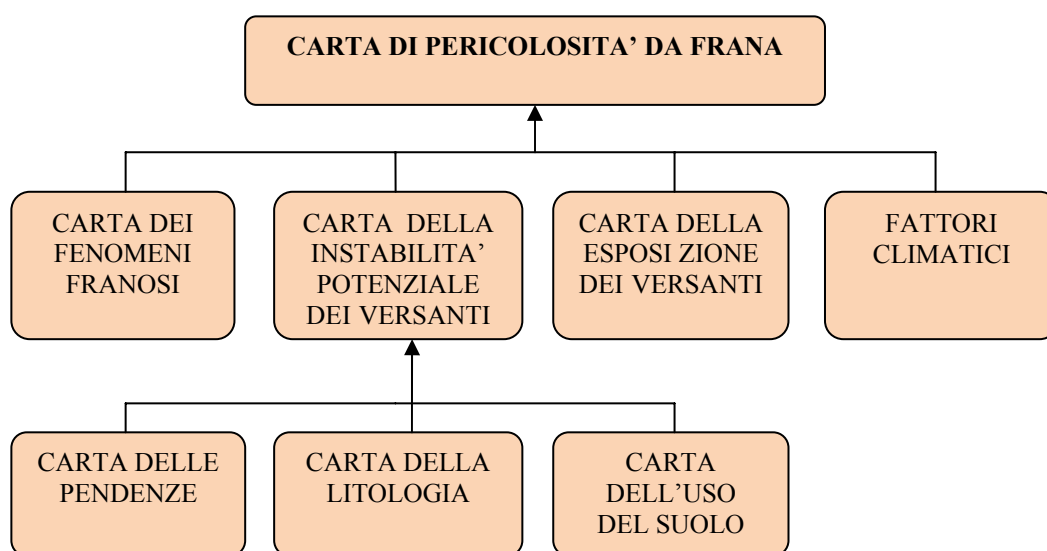
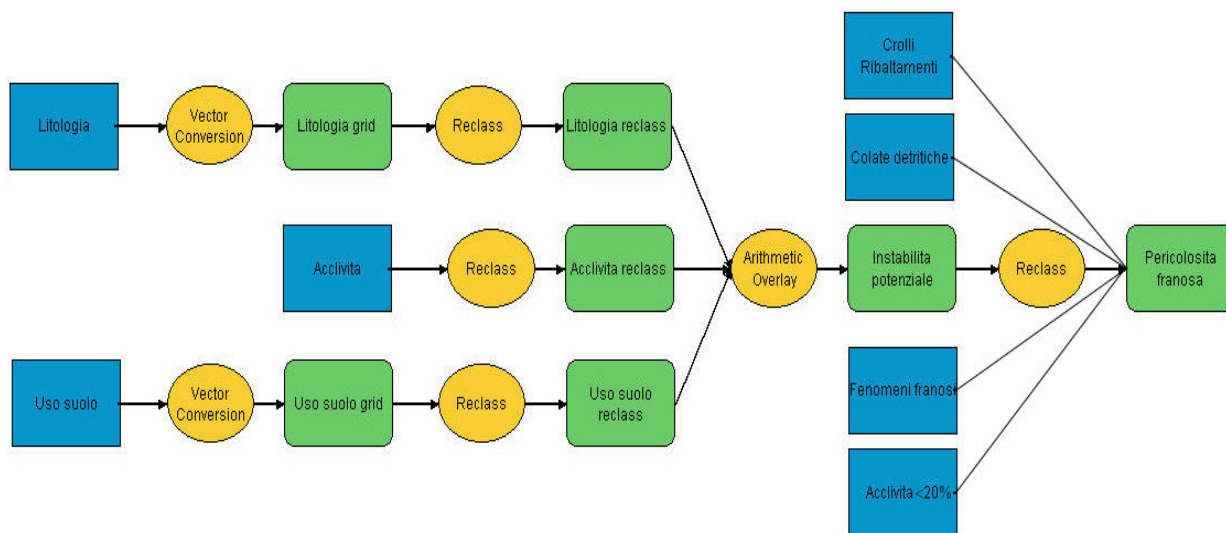


Figura 7 - Schema metodologico per la redazione della Carta di Pericolosità da Frana

In ogni caso si è visionato anche lo schema applicato dall'Assessorato dei Lavori Pubblici- Servizio di Difesa del Suolo P.A.I. Sub-Bacino 5; in esso le quattro carte finali indicate dai riquadri in blu del diagramma, ed abbinate alla Carta della Instabilità Potenziale, sono state ricomprese all'interno della **Carta Geomorfologica**.

Fig. 8 - Diagramma di flusso per la redazione della Carta di Pericolosità da Frana



10.4. Carta della pericolosità per frana

Dunque per giungere alla definizione della pericolosità da frana nel territorio, si è correlata la Carta dell'Instabilità Potenziale, con quella della franosità e dei processi geomorfologici scaturiti dalle analisi sul territorio.

In questa fase si è anche tenuto conto della pericolosità così come definita nelle linee guida PAI secondo le successive tabelle:

Tab. n° 7: Definizione dei livelli di pericolosità del territorio secondo le Linee Guida del P.A.I.

Pericolosità			
Classe	Intensità	Peso	Classe di instabilità corrispondente
Hg1	Moderata	0,25	1-2
Hg2	Media	0,50	3
Hg3	Elevata	0,75	4
Hg4	Molto elevata	1	5

Tab. n° 8: Classi di pericolosità

Pericolosità (Hg)		Descrizione
Classe	Intensità	
Hg1	moderata	I fenomeni franosi presenti o potenziali sono marginali
Hg2	media	zone in cui sono presenti solo frane stabilizzate non più riattivabili nelle condizioni climatiche attuali a meno di interventi antropici (assetti di equilibrio raggiunti naturalmente o mediante interventi di consolidamento); zone in cui esistono condizioni geologiche e morfologiche sfavorevoli alla stabilità dei versanti ma prive al momento di indicazioni morfologiche di movimenti gravitativi.
Hg3	elevata	zone in cui sono presenti frane quiescenti per la cui riattivazione ci si aspettano presumibilmente tempi pluriennali o pluridecennali; zone di possibile espansione areale delle frane attualmente quiescenti; zone in cui sono presenti indizi geomorfologici di instabilità dei versanti e in cui si possono verificare frane di neoformazione presumibilmente in un intervallo di tempo pluriennale o pluridecennale.
Hg4	Molto Elevata	Zone in cui sono presenti frane attive, continue o stagionali; zone in cui è prevista l'espansione areale di una frana attiva; zone in cui sono presenti evidenze geomorfologiche di movimenti incipienti

Ai fini della definizione della **Carta della Pericolosità per Frana** si è tenuto conto anche della ripartizione dell' accorpamento secondo le linee guida del P.A.I. adattata alle osservazioni dirette sul territorio.

Hg1 - Aree a pericolosità moderata

Le aree che ricadono in questa classe sono caratterizzate da condizioni generali di stabilità dei versanti, ovvero presentano i seguenti caratteri:

- classi di instabilità potenziale limitata o assente (classe 2 e classe 1);
- presenza di copertura boschiva;
- esposizione prevalente dei versanti: Nord;
- litologia prevalente: depositi alluvionali sabbiosi, etc.

Hg2 - Aree a pericolosità media

Le aree che ricadono in questa classe sono caratterizzate da prevalenti condizioni di media pericolosità, in particolare da:

- classe di instabilità potenziale media (classe 3)
- fenomeni di soliflusso
- fenomeni di dilavamento diffuso
- frane di crollo non attive/stabilizzate
- frane di scorrimento attive/stabilizzate
- aree di conoidi non attivatisi recentemente o completamente protette da opere di difesa
- superfici degradate per pascolamento

- presenza di copertura boschiva
- esposizione prevalente dei versanti: Nord
- litologia prevalente: depositi alluvionali depositi sabbiosi, porfidi, graniti massicci

Hg3 - Aree a pericolosità elevata

Le aree che ricadono in questa classe sono prevalentemente caratterizzate da fenomeni quiescenti e potenziali tali da condizionare l'uso del territorio; in particolare da:

- classe di instabilità potenziale forte (classe 4)
- presenza di lineamenti tettonici
- pareti in roccia
- orlo di scarpata o di terrazzo
- falde e coni di detrito colonizzati
- fenomeni di erosione delle incisioni vallive
- frane di crollo quiescenti
- frane di scorrimento quiescenti
- deformazioni gravitative profonde di versante non attive
- aree di conoidi attivi o potenzialmente attivi, parzialmente protette da opere di difesa e di sistemazione a monte
- fenomeni di fluidificazione dei suoli
- fenomeni di soliflusso
- fenomeni di dilavamento diffuso e concentrato
- litologia prevalente: depositi detritici; depositi alluvionali antichi, recenti, attuali; depositi argillosi; calcescisti, micascisti, argilloscisti; filladi; anfiboliti, gneiss fratturati; graniti alterati con copertura di sabbioni.

Hg4 - Aree a pericolosità molto elevata

Le aree che ricadono in questa classe sono, in prevalenza, caratterizzate da una concentrazione di fenomeni in atto tali da condizionare fortemente l'uso del territorio; in particolare da:

- classe di instabilità potenziale massima (classe 5)
- falde e coni di detrito attivi, in particolare posizionati in quota e su versanti esposti a sud
- aree di conoidi attivi o potenzialmente attivi non protette da opere di difesa e di sistemazione a monte
- canaloni in roccia (e non) con scarico di detrito
- frane di crollo attive
- frane di scorrimento attive
- scivolamenti rapidi in roccia, detrito, fluidificazione di terreni sciolti superficiali

- piccole frane
- deformazioni gravitative profonde di versante attive
- crolli e fenomeni di instabilità lungo l'intaglio stradale.
- litologia prevalente: detrito di falda, con detritici e conoidi di deiezione, alluvioni ghiaiose, antiche e terrazzate, sabbie eoliche, sabbie, anche grossolane con livelli ghiaiosi ed intercalazioni di arenarie, graniti, granodioriti alterati con potenti coperture di sabbioni arcosici.

Con le considerazioni e metodiche applicate, è stata ottenuta la Carta della pericolosità da frana la cui perimetrazione, è stata resa alla scala 1.10.000 per tutto il territorio, con un maggior dettaglio in scala 1:2.000 per le aree dell'abitato e frazioni.

Si osserva che la perimetrazione della pericolosità deriva dalla verifica diretta di tutte le aree a pericolosità segnalate nelle cartografie derivate e nel progetto IFFI, stralciando o rimodellando quelle situazioni nelle quali non è stata rilevata alcuna instabilità seppur segnalata.

All'interno del territorio del comune di Gonnese sono state individuate le seguenti aree di Pericolosità:

- Monte San Giovanni
- Frazione di Norman;
- Area di Via Monte Uda
- Falesie a Mare
- Orli di Cuestas dei pianori ignimbritici
- S.P. Gonnese – Portoscuso
- S.P. per Nebida
- Aree già inserite all'interno del P.A.I. vigente.
- Aree individuate nello studio I.F.F.I.

1) Monte San Giovanni: Rilievo carbonatico sito a Nord dell'abitato di Gonnese, interessato da attività mineraria secolare con creazione di gallerie, discariche e vuoti minerari anche superficiali; presenta inoltre una morfologia aspra con spuntori di roccia e creste che possono dare luogo a distacco di blocchi.

2) Frazione di Norman: Area edificata in passato per la creazione di un piccolo villaggio minerario, posta al di sotto delle creste del Monte San Giovanni.

3) Gonnese - Via Monte Uda: area sita nella parte SE del centro abitato di Gonnese, interessata da una frana della copertura detritica eluviale che poggia su rocce compatte quali scisti e calcari.

Tale area è stata messa in sicurezza con apposite indagini geologiche e geotecniche, seguite da un intervento di riprofilatura del corpo frana, palificazione e dalla realizzazione di un muro di contenimento al piede.

4) Falesie a mare: aree di falesia costiera attiva ed inattiva.

5) Orli di cuestas dei pianori ignimbrici

6) Strada provinciale Gonnese-Portoscuso: strada sulla falesia in litologie vulcaniche con segni di distacco di porzioni di roccia e cedimenti lungo i tagli stradali; si sono resi necessari diversi interventi di mitigazione del rischio frana.

7) Strada Provinciale per Nebida: strada sulla falesia a mezza costa su litologie detritico - scistose del Permo-Trias e del Paleozoico, ove si sono verificati distacchi di porzioni rocciose e crolli rendendo necessari ripetuti interventi di mitigazione (Palificazioni sull'asse viario, Reti paramassi, Gabbionate in pietrame, chiodature e tiranti etc).

8) Aree già inserite all'interno del P.A.I. vigente.

9) Aree individuate nello studio IFFI.

L'individuazione di questi perimetri, al fine di definire il dettaglio geometrico e allo stesso tempo l'estensione delle aree in esame, impone che il criterio di individuazione degli elementi critici debba essere condotto per livelli successivi di approssimazione con procedure basate sui criteri di:

- analisi storica,
- analisi geomorfologica
- analisi geologica dell'area.

Il criterio dell'analisi storica si basa sulla memoria di particolari eventi accaduti, testimoniata per esempio, dalle cronache e dai reperti documentali.

In base a tale documentazione è possibile operare una prima identificazione delle aree a rischio facendo seguire poi il criterio geomorfologico e geologico che si basa prevalentemente sull'individuazione diretta con sopralluoghi e l'analisi delle carte tematiche a disposizione.

Le aree così individuate sono state riprodotte sulla base cartografica dello strumento urbanistico, allo scopo di una più attenta e dettagliata valutazione.

10.5. Descrizione dei fenomeni franosi in area vasta

L'elevata articolazione litologica ed orografica, in cui si ritrovano alcune porzioni del territorio comunale di Gonnese, hanno generato condizioni tali per cui in certi settori si sono potute creare condizioni particolarmente critiche e favorevoli per lo sviluppo e la predisposizione di fenomeni di instabilità.

La scarsa diffusione di terreni allentati di copertura, che quando presenti sono localizzati in aree morfologicamente stabili, unito al carattere assolutamente lapideo dei terreni presenti in affioramento, determinano in maniera fondamentale la tipologia delle manifestazioni di instabilità, in atto o potenziale.

La quasi totalità dei fenomeni conosciuti e censiti, dall'IFFI prima e dal PAI dopo, riconducibili a circa una decina di episodi o aree ad elevata criticità, rappresentate dalla tipologia del distacco, crollo e rotolamento di singoli massi più o meno isolati.

Oltre la metà di questi fenomeni è riconducibile alle litologie Vulcaniche ed è localizzabile a margine delle pareti verticali o sub verticali che orlano i tavolati, mentre le restanti sono localizzate lungo le pareti verticali che delimitano i rilievi calcarei, laddove queste rappresentano superfici di arretramento di antichi specchi di faglia.

Qualche fenomeno di instabilità, è stato individuato sempre nelle litologie sia vulcaniche che calcaree, nella tipologia dello scivolamento per azione mista e congiunta di azioni gravitative e fluidificanti su elementi litoidi isolati, lungo superfici stratigrafiche o strutturali mediamente inclinate ma fortemente predisponenti al movimento (crollo di un trovante isolato, presso l'Agriturismo Lo Sperone).

Molto scarse sono tutte le altre tipologie di frana, con assenza totale di quelle rototraslative di grosse porzioni di versante o di quelle formate da creeping o da processi di lento movimento del suolo, eccetto qualche modesta manifestazione riconducibile all'azione di dilavamento laminare o concentrata delle acque meteoriche (caso area Monte Uda).

Lo studio geomorfologico ha dimostrato che, a dispetto della elevata superficie del territorio il numero delle manifestazioni instabili risulta abbastanza contenuto ed è influenzato dall'azione antropica in maniera molto contenuta.

La grande maggioranza dei fenomeni franosi o delle aree a stabilità critica, peraltro, ricadono o insistono su porzioni di territorio non popolate e contraddistinte da una frequentazione umana occasionale o sporadica e legata prevalentemente ad attività ricreazionale e non produttive.

Solo in pochissimi casi le aree caratterizzate da un reale livello medio alto di pericolosità per frana sono localizzate in contesti urbani, più o meno densamente popolati o a frequentazione umana.

Nell'abitato di Gonnese, l'unica situazione è quella presente nella periferia orientale del paese, in via Monte Uda, dove peraltro è stato fatto il monitoraggio e studio del fenomeno seguito dalla esecuzione di un progetto per il consolidamento e la messa in sicurezza di tutto il settore.

Nella frazione di Norman le condizioni di instabilità potenziale sono più numerose, e per'altro non inserite nel PAI vigente e nell'IFFI.

La presenza del villaggio ex minerario tutt'ora abitato, ed ubicato a mezza costa dei rilievi montuosi carbonatici, comporta la situazione di rischio dovuta a fenomeni di crolli potenziali attualmente mitigati solo dalla presenza di un bosco di conifere a monte.

In questa area andranno previsti idonei interventi di protezione dell'abitato con la realizzazione di reti e barriere paramessi, chiodatura, disgaggio e messa in opera di reti a monte sulle creste carbonatiche più instabili.

Manifestazioni di instabilità si sono ripetutamente verificate lungo la strada che collega Gonnese con Portoscuso ed in quella che va da Fontanamare a Nebida.

Gran parte di queste aree critiche sono già state fatte oggetto di interventi di consolidamento, mentre per altre, si dovrà procedere in tale direzione; soprattutto gli enti competenti come ANAS e Provincia di C.I., dovranno impegnarsi ad effettuare periodici controlli ed interventi manutentivi che ne garantiscano la efficacia nel tempo.

La perimetrazione proposta in questa fase individua per le aree a pericolosità molto elevata di classe Hg4 una estensione limitata di circa 0,93 kmq, pari a poco meno del 2 % sul totale; per la classe di livello elevato Hg3 è pari a 3,43 kmq, pari a 7,15 %; per la classe di livello medio Hg2 è pari a 5,56 kmq, pari a 11,6 % mentre, la restante superficie avente classi di livello moderato e nullo Hg1 ed Hg0 è 38,01 kmq, pari all'79,3 %.

Le aree a pericolosità molto elevata ed elevata, pur essendo state inserite nuove aree a seguito dello studio effettuato, hanno un'estensione contenuta di poco superiore ai 4 chilometri quadrati e sono localizzate prevalentemente, in zone a scarsa interferenza con la presenza umana stabile e continuativa.

11. LA PERIMETRAZIONE DEL RISCHIO FRANA A SEGUITO DELLO STUDIO EFFETTUATO

La definizione della pericolosità da franamento scaturita dal presente studio di compatibilità geologica e geotecnica, produce una variazione nella perimetrazione esistente, che non teneva conto né dell'estensione territoriale del Comune di Gonnese né tantomeno, delle peculiarità delle aree interessate da fenomeni di instabilità gravitativa potenziali e/o attivi.

La perimetrazione costituisce quindi motivo di variante al Piano di Assetto Idrogeologico che sarà presentata in seguito dalla Amministrazione Comunale secondo le indicazioni dalla Regione Autonoma della Sardegna.

L' intersezione della pericolosità individuata dal presente studio, con la Carta degli Elementi a rischio, consentirà la nuova definizione della Tavola del Rischio da frana per l'intero territorio.

Secondo le indicazioni delle linee guida per la stesura del P.A.I. sono state considerate le zone a rischio frana dove, sono stati individuati eventuali eventi calamitosi che interessano l'incolumità delle persone e delle strutture.

In particolare il Rischio è definito come il prodotto di tre fattori secondo l'espressione:

$$R_g = H_g E V \text{ dove:}$$

- **R_g** indica il rischio, quantificato secondo quattro livelli: R_{g1}, R_{g2}, R_{g3}, R_{g4}
- **H_g** indica la pericolosità geologica, essendo di non agevole definizione in quanto risulta spesso non quantificabile la frequenza di accadimento di un evento franoso.

Per tale motivo si assume una suddivisione delle pericolosità in quattro classi come nella tabella seguente.

- **E** rappresenta la classificazione degli elementi a rischio, anch'essa quantificata secondo quattro livelli E1 – E4
- **V** misura la vulnerabilità, intesa come capacità a resistere alle sollecitazioni indotte dall'evento e quindi dal grado di perdita degli elementi a rischio E in caso di manifestarsi del fenomeno. Ogni volta si ritenga a rischio la vita umana, ovvero per gli elementi di tipo E4, E3, e parte di E2, la vulnerabilità sarà assunta pari all'unità.

Le tabelle n° 9 e 10, mostrano le varie classi E, R_g ed H_g secondo quanto previsto dalle Linee Guida del P.A.I.

Tabella n°9 – Matrice di valutazione del rischio frana.

	Hg1	Hg2	Hg3	Hg4
E1	Rg1	Rg1	Rg1	Rg1
E2	Rg1	Rg1	Rg2	Rg2
E3	Rg1	Rg2	Rg3	Rg3
E4	Rg1	Rg2	Rg3	Rg4

Tabella n° 10 – Definizione classe E in funzione degli elementi considerati e dei pesi attribuiti alla classe.

Classi	Elementi	Peso
E1	Aree libere da insediamenti e aree improduttive; zona boschiva; zona agricola non edificabile; demanio pubblico non edificato e/o edificabile	0.25
E2	Aree con limitata presenza di persone; aree extraurbane, poco abitate; edifici sparsi. Zona agricola generica (con possibilità di edificazione); zona di protezione ambientale, rispetto, verde privato; Parchi, verde pubblico non edificato; infrastrutture secondarie	0.50
E3	provinciali e comunali strategiche, ferrovie, lifelines, oleodotti, elettrodotti, acquedotti); aree sedi di significative attività produttive (insediamenti artigianali, industriali, commerciali minori); zone per impianti tecnologici e discariche RSU o inerti, zone a cava	0.75
E4	Centri urbani ed aree urbanizzate con continuità (densità abitativa superiore al 20% della superficie fondiaria); nuclei rurali minori di particolare pregio; zone di completamento; zone di espansione; grandi insediamenti industriali e commerciali; servizi pubblici prevalentemente con fabbricati di interesse sociale; infrastrutture pubbliche (infrastrutture viarie principali strategiche); zona discarica rifiuti speciali o tossico nocivi; zona alberghiera; zona campeggi e villaggi turistici ; beni architettonici, storici e artistici	1.00

Tab. n° 11– Definizione della classe Hg in funzione dell'intensità, dei valori attribuiti e della descrizione degli effetti.

Pericolosità Hg			Descrizione degli effetti
Classe	Intensità	Valore	
Hg1	Moderato	≤ 0,25	I fenomeni franosi presenti o potenziali sono marginali.
Hg2	Medio	≤ 0,50	Zone in cui sono presenti solo frane stabilizzate non più riattivabili nelle condizioni climatiche attuali a meno di interventi antropici (assetto di equilibrio raggiunti naturalmente o mediante interventi di consolidamento) zone in cui esistono condizioni geologiche e morfologiche sfavorevoli alla stabilità dei versanti ma prive al momento di indicazioni morfologiche di movimenti gravitativi
Hg3	Elevato	≤ 0,75	Zone in cui sono presenti frane quiescenti per la cui riattivazione ci si aspettano presumibilmente tempi pluriennali o pluridecennali; zone in cui sono presenti indizi geomorfologici di instabilità dei versanti e in cui si possono verificare frane di neoformazione presumibilmente in un intervallo di tempo pluriennale o pluridecennale
Hg4	Molto elevato	≤ 1,00	Zone in cui sono presenti frane attive, continue o stagionali; zone in cui è prevista l'espansione areale di una frana attiva; zone in cui sono presenti evidenze geomorfologiche di movimenti incipienti

Tab. n°12 – Definizione della classe Rg in funzione dell'intensità, dei valori attribuiti e della descrizione degli effetti.

Rischio geologico totale			Descrizione degli effetti
Classe	Intensità	Valore	
Rg1	Moderato	$\leq 0,25$	Danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali
Rg2	Medio	$\leq 0,50$	Sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche
Rg3	Elevato	$\leq 0,75$	Sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale
Rg4	Molto elevato	$\leq 1,00$	Sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione delle attività socio economiche

12. COMPATIBILITA' DEL PIANO URBANISTICO CON LE AREE A PERICOLOSITA' DI FRANA

Per ciò che concerne la pericolosità e il rischio frane, a seguito delle verifiche puntuali effettuate e quindi di quanto più sopra descritto, è stato possibile identificare le diverse situazioni di pericolosità e rischio sul territorio dal quale dovranno essere eventualmente stralciate le previsioni non compatibili.

Sulla base delle N.d.A. del P.A.I. non sono previsti interventi di edificazione in aree suscettibili di pericolosità da frana elevata e molto elevata.

Le situazioni nelle quali la zonizzazione prevede interventi in aree sottoposte a pericolosità media Hg2 dovranno essere attentamente vagliate secondo i criteri stabiliti dalle N.d.A. del P.A.I che dovranno essere recepite interamente nello strumento urbanistico.

La distribuzione nel territorio delle aree Hg3 e Hg4 dell'attuale P.A.I. vigente è fuori dal centro abitato e dalle frazioni e riguarda esclusivamente parte della rete viaria dove il tracciato corre a mezza costa di aree di falesia (strade litoranee), come la S.P. per Portoscuso e quella per Nebida. A prescindere comunque dalle aree classificate a pericolosità di frana, in tutte le aree del territorio si osserva che comunque qualsiasi intervento ai sensi dell'art. 23 delle N.d.A. del P.A.I. deve essere tale da:

- migliorare in modo significativo o comunque non peggiorare le condizioni di funzionalità del regime idraulico del reticolo principale e secondario, non aumentando il rischio di inondazione a valle;
- migliorare in modo significativo o comunque non peggiorare le condizioni di equilibrio statico dei versanti e di stabilità dei suoli attraverso trasformazioni del territorio non compatibili;
- non compromettere la riduzione o l'eliminazione delle cause di pericolosità o di danno potenziale né la sistemazione idrogeologica a regime;
- non aumentare il pericolo idraulico con nuovi ostacoli al normale deflusso delle acque o con riduzioni significative delle capacità di invaso delle aree interessate;
- limitare l'impermeabilizzazione dei suoli e creare idonee reti di regimazione e drenaggio;
- favorire quando possibile la formazione di nuove aree esondabili e di nuove aree permeabili;
- salvaguardare la naturalità e la biodiversità dei corsi d'acqua e dei versanti;
- non interferire con gli interventi previsti dagli strumenti di programmazione e pianificazione di protezione civile;
- adottare per quanto possibile le tecniche dell'ingegneria naturalistica e quelle a basso impatto ambientale;
- non incrementare le condizioni di rischio specifico idraulico o da frana degli elementi vulnerabili interessati ad eccezione dell'eventuale incremento sostenibile connesso all'intervento espressamente assentito;
- assumere adeguate misure di compensazione nei casi in cui sia inevitabile l'incremento sostenibile delle condizioni di rischio o di pericolo associate agli interventi consentiti;
- garantire condizioni di sicurezza durante l'apertura del cantiere, assicurando che i lavori si svolgano senza creare, neppure temporaneamente, un significativo aumento del livello di rischio o del grado di esposizione al rischio esistente;
- garantire coerenza con i piani di protezione civile.

Qualsiasi intervento previsto sul territorio, in qualsiasi zona urbanistica e in qualsiasi zona di pericolosità dovrà comunque essere svolto a seguito di un'accurata progettazione svolta con il supporto di studi geologici e geotecnici di dettaglio svolti secondo quanto riportato nella normativa vigente, atti ad individuare i processi in atto e potenziali e ad individuarne le opportune opere di mitigazione.

13. METODICHE DI INTERVENTO PER LA MITIGAZIONE DEI FENOMENI FRANOSI

Lo studio effettuato porta alla conclusione che le condizioni di instabilità, di pericolosità e rischio geomorfologico nel territorio in questione, sono da ricondurre prevalentemente a potenziali fenomeni franosi dei versanti rocciosi.

Questi possono verificarsi a seguito di forti precipitazioni, ai cicli di gelo-disgelo o per effetto della infiltrazione delle acque nelle fratture dell'ammasso roccioso.

Tali fenomeni sono attivabili anche a seguito di interventi antropico in funzione delle condizioni litologiche e di coesione delle litologie interessate.

Si ritiene dunque necessario prevedere idonei interventi di protezione sui versanti in particolare in caso di interventi sul territorio, stabilizzando le situazioni di instabilità e proteggendole dai fenomeni erosivi.

I settori nei quali è stata individuata una situazione di pericolosità elevata e molto elevata se non già fatti oggetto di interventi strutturali di mitigazione del rischio, potrebbero necessitare di progetti di stabilizzazione a seguito di ulteriori, locali accertamenti di tipo carattere geologico, idrogeologico e geotecnico.

Questi interventi dovranno necessariamente essere adeguati non solo dal punto di vista tecnico, ma anche di inserimento ambientale, in relazione al contesto paesaggistico nel quale si dovrà operare.

A fine di mitigare l'esposizione alla pericolosità e dunque il rischio, occorrerà agire riducendo le forze che tendono a provocare i dissesti e le rotture realizzando opere tese ad aumentare le forze resistenti.

Sul alcune aree del territorio studiato potrebbero rendersi necessari interventi di stabilizzazione e consolidamento, distinguendo di quelli per la stabilizzazione dei pendii in terreni da quelli in roccia.

13.1. *Interventi di stabilizzazione dei pendii in terreni*

Le considerazioni di seguito riportate possono essere applicate a tutte le aree indagate dove sono affioranti masse detritico colluviali o aree marnoso - argillose.

Le principali tecniche da adottare per ridurre gli sforzi tangenziali agenti lungo le potenziali superfici di scivolamento, che permettono di ridurre le forze agenti sul pendio, sono riconducibili alla modifica della geometria del versante e all'esecuzione di opere per il drenaggio sia delle acque superficiali che sotterranee.

Possono essere inoltre applicati interventi che permettono di aumentare le forze resistenti.

Le forze che causano il movimento di un pendio sono sostanzialmente di tipo gravitativo ed il metodo più semplice per aumentare il grado di stabilità consiste nel ridurre la massa di terreno interessata dal movimento.

Le principali tecniche da utilizzare al fine di ridurre gli sforzi tangenziali agenti lungo la superficie di scivolamento, sono:

- modificazione della geometria del pendio,
- esecuzione di drenaggi superficiali
- esecuzione di drenaggio profondi.

Se le opere di stabilizzazione devono incrementare le forze resistenti nei confronti di una situazione di frana, si possono utilizzare sia tecniche che consistono nell'applicazione di forze resistenti al piede della frana: contrafforti, berme al piede, opere di sostegno varie, sia quelle che consentono di aumentare la resistenza interna del terreno, nelle zone interessata dalla rottura, stabilizzando il pendio senza interventi esterni: rinforzo dei terreni mediante geosintetici, ancoraggi etc.

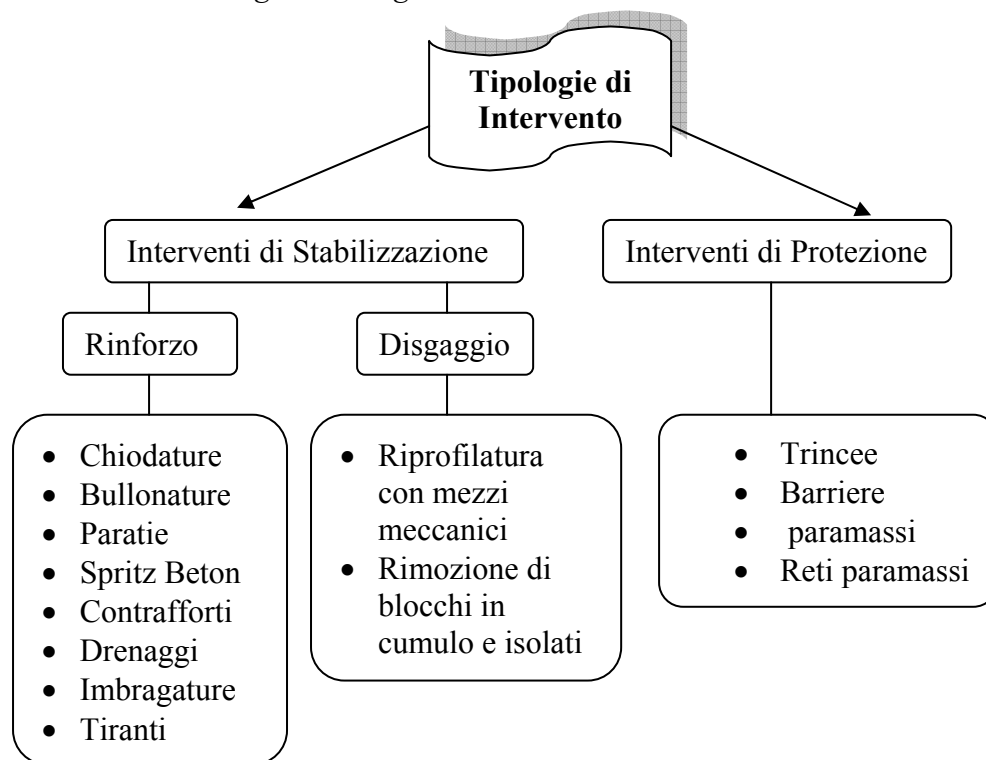
Fig. 9- Diagramma dei sistemi di stabilizzazione in terreni



13.2. Interventi di stabilizzazione dei pendii rocciosi

Per poter stabilizzare i pendii rocciosi, sono necessarie analisi e verifiche differenti da quelli precedentemente descritti ed occorre adottare, le metodiche più consone alle situazioni localmente riscontrate; nei casi presenti sul territorio studiato, possono essere ricondotte ad opere di disgaggio, rinforzo e protezione.

Fig. 10 - Diagramma dei sistemi di stabilizzazione in rocce



Con il termine di disgaggio, si intende una la rimozione di blocchi rocciosi instabili ma anche la riprofilatura di materiale alterato instabile; queste operazioni possono comprendere anche l'abbattimento di alberi le cui radici in corrispondenza delle fratture possono agire negativamente, la rimozione di blocchi instabili isolati dai giunti di stratificazione e scistosità e la ripulitura di trincee di accumulo.

Per la esecuzione, preceduta da attente valutazioni di tipo geognostico e geomorfologico, vengono preferite tra le diverse tipologie di intervento, le tecniche di abbattimento controllato.

Gli interventi di rinforzo invece, devono minimizzare il rilascio tensionale dell' ammasso roccioso; pertanto con la perdita del grado di incastro fra i blocchi, si avrà una diminuzione della resistenza al taglio.

In questi casi si possono utilizzare ancoraggi attivi (pretesi) e/o passivi (non pretesi); nel caso si debbano stabilizzare blocchi rocciosi già mossi, si possono installare ancoraggi attivi allo scopo di evitare ulteriori spostamenti.

Possono dunque essere utilizzati dei bulloni (Vedi raccomandazioni A.I.C.A.P.), ossia un tipo particolare di ancoraggio costituito da barre in acciaio di lunghezza opportuna, con la presenza della testa di ancoraggio.

La tiratura deve essere tale da aumentare l'effetto delle forze stabilizzanti; il bulbo di ancoraggio deve trovarsi sempre ad una profondità superiore a quella della superficie di scivolamento al fine di poter esercitare la sua forza stabilizzante.

L'inclinazione ottimale deve essere determinata eseguendo il rapporto tra la tangente dell'angolo di resistenza al taglio e il coefficiente di sicurezza da raggiungere con l'intervento.

In termini di protezione si ricorre all'impiego di reti metalliche, barriere paramassi, trincee di raccolta al piede ed in taluni casi, l'accumulo di terre, alla base della parete, in modo da costituire un rilevato modellato che permette di ottenere il duplice risultato di controllo dei distacchi rocciosi e di protezione dall'erosione.

14. MONITORAGGIO DEI FENOMENI FRANOSI

Per la valutazione della compatibilità di un Piano Urbanistico è opportuno definire un piano di manutenzione e monitoraggio del territorio al fine di garantire adeguate condizioni di sicurezza e mantenere in condizioni di efficienza le strutture già realizzate e quelle che si realizzeranno.

Grazie alla caratterizzazione dei movimenti franosi ed alla loro tipologia potranno essere realizzate delle idonee reti di monitoraggio definendo la tipologia e l'ubicazione dello strumento da posizionare.

Per le frane complesse e composite, la realizzazione di una rete di monitoraggio presenta maggiori difficoltà rispetto ai casi di frane singole, multiple e/o successive dove si ha la possibilità di utilizzo breve di uno strumento e quindi di poter prevedere un suo successivo riposizionamento, in prossimità di settori instabili.

La prevenzione del rischio e l'adozione di misure di salvaguardia e attività di prevenzione, devono essere programmate per tutte le zone in cui il rischio sia socialmente non tollerabile (R3), con priorità assoluta per le zone ad alto rischio (R4).

Le previsioni urbanistiche indicano che non vi sono ipotesi di ampliamento ed edificazione in aree di pericolosità di rischio da frana ad elevato e molto elevato.

Anche nelle aree a pericolosità media, occorre sviluppare accurati progetti di insediamento che siano muniti di tutti gli approfondimenti geologici, geotecnici e di compatibilità atti a mitigare i fenomeni e le criticità che possono presentarsi a seguito di fenomeni naturali o attività umane.

E'auspicabile che le aree segnalate come aree pericolose siano tenute costantemente sotto controllo e monitoraggio con le seguenti azioni:

- verifica periodica delle aree in relazione alle pericolosità evidenziate
- manutenzione ordinaria e straordinaria delle opere realizzate
- definizione di un sistema di rilevamento periodico di tipo topografico o geodetico (controllo di capisaldi connessi agli spostamenti)
- definizione del rilievo degli spostamenti mediante misure fotogrammetriche
- esecuzione di misurazioni periodiche di tipo estensimetrico e clinometrico di aree significative.

I metodi indicati, dovranno trovare applicazione nelle aree classificate ad elevata pericolosità che sono state individuate nella frazione di Norman e in generale del Monte San Giovanni oltre alle aree individuate lungo i tagli stradali delle strade litoranee.

STUDIO DI COMPATIBILITA'
GEOLOGICA GEOTECNICA E IDRAULICA

PARTE IDRAULICA

15. METODOLOGIA DI LAVORO - Parte idraulica

La disciplina dell'assetto idrogeologico si prefigge sostanzialmente la messa in sicurezza delle aree già antropizzate attraverso azioni strutturali e non strutturali, e la prevenzione del rischio attraverso norme d'uso del territorio. Base della prevenzione è la conoscenza, e quindi un'attività di indagine locale in grado di garantire il necessario approfondimento delle problematiche presenti, soprattutto rispetto al PAI vigente ed alla sua naturale evoluzione.

La metodologia utilizzata al fine dell'individuazione delle aree di possibile dissesto idrogeologico, nelle finalità di cui al già citato art.8, comma 2 delle N.A. del PAI, è stata attuata su più livelli:

1. analisi storica e bibliografica degli eventuali fenomeni di dissesto;
2. modellazione del reticolo idrografico oggetto di studio e rilievo piano altimetrico delle sezioni di calcolo;
3. perimetrazione delle aree di pericolosità, ovvero di quelle aree soggette a fenomeni di dissesto quali aree esondabili, con conseguente pianificazione dell'uso del territorio e disciplina relativa alla realizzazione di opere, attività e interventi compatibili, in applicazione delle metodologie indicate dalle Linee Guida del PAI.

L'analisi storica e bibliografica si basa sulla memoria di particolari eventi di piena, ed ha preso in esame principalmente la seguente documentazione:

- a. Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi Idrogeologiche del CNR (GNDICNR), Progetto Aree vulnerate Italiane (AVI) - www.gndci.cnr.it,
- b. eventuali censimenti e catalogazioni effettuati da Province, Comunità Montane, Comuni limitrofi,
- c. progetti ed interventi realizzati nell'ambito del reticolo idrografico comunale,
- d. memorie e testimonianze storiche di particolari eventi di piena storica.

L'individuazione delle aree di pericolosità idraulica prevede, per ogni bacino idrografico, una prima identificazione dei tronchi critici del reticolo idrografico, e, successivamente e per ciascun tronco, il calcolo delle portate di piena, per più sezioni idrografiche, per tempi di ritorno pari a $T=50$ anni, $T=100$ anni, $T=200$ anni, $T=500$ anni, attraverso le metodologie previste dal CNR-GNDICI, e secondo le Norme Tecniche di Attuazione e le Linee Guida del PAI.

In questa fase sono stati individuati i principali bacini idrografici riferiti a tutto il territorio comunale (per un maggior dettaglio si rimanda allo specifico elaborato grafico allegato al presente studio).

L'ottenimento dei dati di input per lo studio di compatibilità idraulica è avvenuto attraverso l'utilizzo del software ESRI ArcGis con l'ausilio del plug-in ad esso dedicato HEC-GeoRAS.

La modellazione del reticolo idrografico oggetto di studio si è svolta prendendo come base dati di partenza la cartografia tecnica regionale (CTR) in formato vettoriale. Al fine di poter dare allo studio un grado di dettaglio superiore a quello della scala 1:10.000 si è successivamente provveduto ad adeguare gli assi dello stesso reticolo, originariamente derivante dalla CTR, ad una scala superiore, basandosi sull'interpretazione dell'Ortofoto 2008 prodotta dalla Regione Autonoma della Sardegna.

Per quanto riguarda la fase di rilievo piano altimetrico delle sezioni di calcolo, è stato utilizzato come riferimento il Modello Digitale del Terreno (DTM) con passo di campionamento 1 m, messo a disposizione dalla Regione Autonoma della Sardegna, che descrive in modo dettagliato l'andamento del terreno.

Il DTM è stato realizzato partendo dal dato grezzo, ovvero una nuvola di punti rilevati attraverso il sistema Laser Scanning LIDAR (sistema di scansione che utilizza la tecnica laser per la modellazione del terreno) e procedendo attraverso le seguenti fasi:

- processamento dei dati durante il quale vengono generati un file .range che contiene i dati Gps e Laser in formato binario, registrati durante il volo e un file di testo .txt (log file) contenente informazioni relative al volo utili alla decodifica e alla elaborazione dei dati laser;
- estrazione dei dati Lidar e GPS registrati dal sensore durante il volo;
- importazione dei dati grezzi del laser scanner;
- estrazione del DTM ricavato applicando algoritmi di filtratura che individuano, in corrispondenza di un elevato gradiente presente nei dati, la presenza degli edifici e dei manufatti.

Questo dato cartografico, originariamente fornito dalla RAS, in formato file .asc, è rappresentato sul Sistema di Riferimento WGS84/UTM32N - EPSG:32632.

Al fine di poter rendere omogenea l'elaborazione dei dati disponibili con il DTM della RAS, quest'ultimo è stato riproiettato dal Sistema di Riferimento WGS84-UTM32N (EPSG:32632) al ROMA40-GAUSS BOAGA Fuso Ovest (EPSG:3003).

Per quanto attiene all'intera area di studio è necessario precisare che la mappatura del DTM della RAS copre circa il 95 % del territorio comunale di Gonnese.

Non sono disponibili i dati sulla porzione di territorio posta ad est dell'abitato che in particolare riguarderebbero la porzione a monte dei corsi d'acqua denominati Riu de Gravellu, Canale Monti e Riu Carboni.

Riguardo a tale porzione di territorio, in relazione alle finalità dello studio, si è ritenuto di poter integrare il modello digitale del terreno senza incidere sensibilmente sulla precisione dello stesso (in ragione delle forti acclività che lo contraddistinguono), utilizzando i dati provenienti dalla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000, attraverso l'estrapolazione dei punti quota e delle curve di livello.

Sulla base delle banche dati sopra citate è stato creato pertanto il modello 3D dell'intero Territorio Comunale di Gonnese in formato TIN (Triangular Irregular Network) sulla quale è stato riproiettato il reticolo idrografico oggetto di studio.

La fase successiva ha visto il tracciamento delle sezioni di studio con un passo medio di circa 37 m (1474 sezioni complessive su poco più di 56 km di sviluppo complessivo di reticolo idrografico) ciascuna delle quali è stata valutata in relazione alla conformazione del terreno.

L'elaborazione del dato di input ha determinato conseguentemente l'esportazione del file in formato .sdf, al fine di consentirne l'elaborazione con il software di calcolo HEC-RAS, con il quale si è poi determinato il livello idrico del singolo tratto critico corrispondente alle portate di piena riferite ai diversi tempi di ritorno.

Infine in corrispondenza di ciascun tratto si è proceduto ad identificare, sulla scala grafica dello strumento urbanistico, le aree inondabili con la definizione della mappa della pericolosità Hi.

A seguito dell'elaborazione del modello e del calcolo delle superfici di esondazione per le singole sezioni, avvenuta con l'utilizzo del software HEC-RAS, si è proceduto con la restituzione dei dati su base cartografica sempre con l'utilizzo del software ESRI ArcGis e del suo applicativo HEC-GeoRAS.

Le superfici di esondazione finali per i quattro tempi di ritorno (Tr50, Tr100, Tr200 e Tr500) sono state ottenute attraverso l'unione dei punti di intersezione tra il modello 3d del terreno in formato TIN e la superficie di esondazione interpolata sui valori risultanti dalle varie sezioni di calcolo, anch'essa restituita in formato TIN.

Le perimetrazioni finali delle aree di esondazione relative ai quattro tempi di ritorno suddetti sono infine il frutto di una rielaborazione manuale dei risultati avvenuta ad una scala di circa 1:1.000 ed ottenuta eliminando tutte le piccole porzioni di territorio con ampiezza inferiore ad un metro, che sono state incluse cautelativamente nella maggiore tra le aree adiacenti più a rischio.

In questa fase , i risultati ottenuti sono prodotti in formato .shp, nel Sistema di riferimento:

ROMA40-GAUSS BOAGA Fuso Ovest (EPSG:3003)

In conclusione, si è quindi provveduto alla sovrapposizione delle aree di pericolosità come sopra determinate con i vincoli PAI e PSFF attualmente vigenti.

Va quindi precisato che le analisi e le modellazioni dell'evento di piena sono state condotte a scale differenti, con maggior dettaglio rispetto alla scala di output, pertanto si possono evidenziare discordanze di perimetrazione, soprattutto allorquando l'operazione ha implicato un consistente passaggio di scala. Di conseguenza, è capitato di dover rianalizzare le perimetrazioni per inserirle nella maniera più corretta possibile nella scala dello strumento urbanistico comunale.

Tutto ciò, unito alla necessità di rilievi più accurati in particolari situazioni (presenza di tombature, rivestimenti di alvei, arginature, ecc.), determina la possibilità, in fase di studio di variante al PAI, di procedere ad adeguamenti e modifiche delle aree di pericolosità idraulica in vari tronchi critici.

Nei paragrafi seguenti sono illustrate le procedure adottate per la definizione dei succitati elementi. La cartografia di base utilizzata per l'output è quella del Piano Urbanistico Comunale (P.U.C.). La scala grafica a disposizione è 1:2.000 per il centro urbano di Gonnese, 1:10.000 per il territorio rimanente.

15.1. IDENTIFICAZIONE DEI TRONCHI CRITICI

Ai fini della attività di perimetrazione delle aree di pericolosità idraulica, si è proceduto anche con un'analisi degli elementi del territorio, attraverso uno screening della cartografia del PUC messa a disposizione dagli Uffici Comunali, ed in particolare: carta geomorfologica, geolitologica, geologico-tecnica, idrogeologica, carta delle acclività, della copertura vegetale e dell'uso dei suoli (tutte in scala 1:10.000).

In ragione della metodologia sopra esposta, con particolare riferimento all'inquadramento territoriale ed urbanistico, lo studio, in pieno accordo con l'Amministrazione Comunale ed il R.U.P., è stato orientato principalmente all'applicazione dell'art.8, combinato disposto commi 2 e 3, e dell'art.26 delle N.A. del PAI:

- art.8, commi 2 e 3 – studi di compatibilità idraulica in sede di adozione di nuovi strumenti urbanistici e nuove previsioni di uso del territorio (insediamenti residenziali, produttivi, di servizi, di infrastrutture),

- art.26 - aree pericolose non perimetrate nella cartografia del piano (sono aree a significativa pericolosità idraulica il reticolo minore gravante sui centri abitati, le foci fluviali, le aree lagunari e gli stagni).

Inoltre si è tenuto conto anche dell'attraversamento delle aree “sensibili” e/o di pregio, che discende dalla constatazione dell'esistenza, lungo o nelle vicinanze degli alvei fluviali, di elementi esposti, così come indicato dal già citato DPCM 29/09/98.

In particolare, le indagini delle aree urbanizzate sono relative alla presenza di tronchi del reticolo idrografico principale e comunque non hanno preso in considerazione il sistema fognario (o sistema di drenaggio urbano), ossia il complesso di canalizzazioni, in gran parte sotterranee, funzionali alla raccolta ed allo smaltimento delle acque superficiali (meteoriche, di lavaggio, ecc.) e di quelle reflue provenienti dalle attività umane in generale (ricorrendo anche il sistema misto di acque bianche e nere); questo è stato fatto indipendentemente da diametro e distinzione (fogne e collettori).

Sostanzialmente analisi storica, analisi cartografica, inquadramento territoriale ed urbanistico, nuove previsioni d'uso del territorio, idrografia e salvaguardia di aree sensibili, hanno determinato lo studio, ai sensi delle Linee Guida del PAI, dei seguenti bacini e relative aste principali (per un dettaglio sull'ubicazione cartografica si rimanda agli elaborati grafici allegati):

- 1) **Bacino Sa Masa (Id. A)** - con i seguenti corsi d'acqua principali: Rio Cabriola e affluenti, Rio Morimenta, Rio Sibasca, Rio Fadda, Rio Gutturu Carboni. Il bacino è suddiviso nei seguenti sub-bacini:

- sub-bacino 1 - Rio Fadda (rami 2 e 3), affluente Rio Fadda (1-SN)
- sub-bacino 2 - Rio Fadda (ramo 1)
- sub-bacino 3 - affluente Rio Fadda (2-SN2)
- sub-bacino 4 - Rio Sibasca (ramo 1), Rio ArcaBascu
- sub-bacino 5 - Canale Monti
- sub-bacino 6 - Rio Sibasca (ramo 2)
- sub-bacino 7 - Canale Monte Lisau
- sub-bacino 8 - Rio Morimenta
- sub-bacino 10 - Gutturu Carboni (tratto monte centro urbano)
- sub-bacino 11 - Gutturu Carboni (tratto centro urbano)
- sub-bacino 16 - affluenti Rio Cabriola (Gutturu Su Forru, Rio de Is Carres - ramo 2)
 - a. sub-bacino 16a - Rio de Is Carres (ramo 1)
 - b. sub-bacino 16b - affluente Gutturu Su Forru (16-SN)

- c. sub-bacino 16c - Canale Bingias, Gutturu PaniCani (rami 1 e 2)
- d. sub-bacino 16d - Gutturu Lisau
- sub-bacino 17 - Rio Cabriola (rami 1 e 2)
- 2) **Bacino San Giorgio** (Id. **B**) - con i seguenti corsi d'acqua principali: Rio San Giorgio, Rio de Gravellu. Il bacino è suddiviso nei seguenti sub-bacini:
 - sub-bacino 12 - Rio de Gravellu (ramo 1), affluente Rio de Gravellu (2-SN1)
 - sub-bacino 13 - Rio San Giorgio (tratto a monte)
 - sub-bacino 14 - Rio San Giorgio (rami 2 e 3), Rio Baccariu (ramo 1)
 - a. sub-bacino 14a - Rio San Giorgio (ramo 1)
 - b. sub-bacino 14b - Canale de Genne Rutta
 - c. sub-bacino 14c - Rio Baccariu (ramo 2)
 - d. sub-bacino 14d - Rio de Gravellu (ramo 2)
- 3) **Bacino Canale Mannu** (Id. **C**) - con i seguenti corsi d'acqua principali: Canale Mannu. Il bacino è suddiviso nei seguenti sub-bacini:
 - sub-bacino 15 - Canale Mannu (ramo 2)
 - a. sub-bacino 15a - affluente Canale Mannu (15-SN)
 - b. sub-bacino 15b - Canale Mannu (ramo 1)
- 4) **Bacino mare** (Id. **D**) - con i seguenti corsi d'acqua principali: Canale Su Passu Malu
- 5) **Bacino mare** (Id. **E**) - con i seguenti corsi d'acqua principali: Grifoneddu De s'Acqua
- 6) **Bacino mare** (Id. **F**) - con i seguenti corsi d'acqua principali: tronco 20-SN
- 7) **Bacino mare** (Id. **G**) - con i seguenti corsi d'acqua principali: Canale Golfo Leone
- 8) **Bacino mare** (Id. **H**) - con i seguenti corsi d'acqua principali: tronco 22-SN
- 9) **Bacino mare** (Id. **I**) - con i seguenti corsi d'acqua principali: Rio Sa Canna
- 10) **Bacino Rio Perdaias** (Id. **L**) - con i seguenti corsi d'acqua principali: Rio Perdaias (rami 1 e 2), Rio Ghiletta, affluente Rio Perdaias (24-SN)
- 11) **Bacino Rio Pescinas** (Id. **M**) - con i seguenti corsi d'acqua principali: Rio Pescinas
- 12) **Bacino Rio Sturruliu** (Id. **N**) - con i seguenti corsi d'acqua principali: Rio Sturruliu

Per i bacini idrografici, come sopra determinati, si è proceduto all'individuazione sulla carta dei tronchi critici che, a causa delle loro caratteristiche fisiche possono essere potenzialmente soggetti a fenomeni di esondazione e quindi causa di allagamenti delle aree limitrofe.

Per un maggior dettaglio si rimanda agli specifici elaborati grafici allegati allo studio.

Le aree non censite sono comunque assoggettate a verifica di pericolosità secondo le procedure di cui alla L. 267/98, al DPCM 29/09/98 ed alle stesse N.A. del PAI. Valgono in ogni caso le disposizioni di cui all'art. 93 e seg. del T. U. sulle Opere idrauliche n°523.

15.2. FASCE DI TUTELA DEI CORPI IDRICI SUPERFICIALI

Ai sensi dell'art.8, comma 8, delle N.A. del PAI, nelle zone perimetrare come aree di pericolosità idraulica di qualunque classe, ed anche nel restante reticolo idrografico minore principale, non assoggettato a studio di compatibilità idraulica secondo le Linee Guida del PAI, sono comunque istituite le fasce di tutela dei corpi idrici superficiali:

- per una profondità di cinquanta metri dalle rive o, se esistente, dal limite esterno dell'area golenale lungo il corso di fiumi e torrenti non arginati, degli stagni e delle aree lagunari;
- per una profondità di venticinque metri dagli argini dei canali artificiali e dei torrenti arginati;
- per una profondità di dieci metri dagli argini dei corsi d'acqua o per una profondità di venticinque metri in mancanza di argini, all'interno dei centri edificati.

Nelle fasce di tutela dei corpi idrici superficiali sono vietati:

- nuovi depuratori delle acque e impianti di smaltimento di rifiuti di qualunque tipo;
- tutte le nuove edificazioni;
- ogni nuova copertura di corsi d'acqua affluenti non richiesta da esigenze di protezione civile;
- tutti i tagli di vegetazione riparia naturale ad eccezione di quelli richiesti da una corretta manutenzione idraulica;
- ogni opera suscettibile di trasformare lo stato dei luoghi ad eccezione degli interventi per eliminare o ridurre i rischi idraulici indicati dal PAI o dal programma triennale di intervento e ad eccezione degli interventi per la salvaguardia dell'incolumità pubblica.

Le fasce di tutela dei corpi idrici superficiali individuate ai sensi dei commi 8 e 9 delle N.A. del PAI, integrano e non sostituiscono le fasce fluviali di inedificabilità di cui all'articolo 10 bis della legge della Regione Sardegna 22/12/1989, n°45, come aggiunto dall'articolo 2 della Legge Regionale 7/5/1993, n°23.

16. ANALISI IDROLOGICA

I metodi di stima della portata ad assegnata frequenza dipendono da vari fattori, primi fra tutti la disponibilità di dati osservati e la copertura spaziale della rete idrometeorologica. In relazione ai dati disponibili, la letteratura evidenzia diverse metodologie che possono essere raccolti in due grandi sottoinsiemi: la prima è nota sotto la generale definizione di *Metodi Diretti*; la seconda come *Metodi Indiretti*, in cui l'aggettivo diretto o indiretto specifica se la portata al colmo in qualunque sezione è ricavata direttamente da valori di portate osservate ovvero indirettamente dalla precipitazione meteorica tramite trasformazione afflussi–deflussi (*Kottegoda e Rosso, 1997; Moisello, 1998*).

Come già specificato, la metodologia utilizzata segue le direttive del G.N.D.C.I. e quanto riportato nelle Linee Guida sull'*Attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia* della Regione Sardegna (D.L. 180 e Legge 267 del 03/08/1998 e ss. mm. ii.).

Il territorio ricadente nel comune di Gonnese è caratterizzato da un reticolo idrografico piuttosto complesso, costituito da 33 corsi d'acqua principali e da numerosi rii minori che sfociano in gran parte nella palude di Sa Masa o nel mare.

Il presente capitolo analizza gli aspetti idrologici a base delle verifiche idrauliche dei seguenti tronchi critici:

- **Bacino Sa Masa (Id. A)** - Rio Fadda (rami 1, 2 e 3), 1-SN, 2-SN2, Rio Sibasca (rami 1 e 2), Canale Monti, Canale Monte Lisau, Rio Morimenta, Gutturu Carboni, Gutturu Su Forru, Rio de Is Carres (rami 1 e 2), 16-SN, Canale Bingias, Gutturu PaniCani (rami 1 e 2), Gutturu Lisau, Rio Cabriola (rami 1 e 2);
- **Bacino San Giorgio (Id. B)** - Rio San Giorgio (rami 1, 2 e 3), Rio de Gravellu (rami 1 e 2), 2-SN1, Rio Baccariu (rami 1 e 2), Canale de Genne Rutta;
- **Bacino Canale Mannu (Id. C)** - Canale Mannu (rami 1 e 2), 15-SN;
- **Bacino mare (Id. D)** - Canale Su Passu Malu;
- **Bacino mare (Id. E)** - Grifoneddu De s'Acqua;
- **Bacino mare (Id. F)** - 20-SN;
- **Bacino mare (Id. G)** - Canale Golfo Leone;
- **Bacino mare (Id. H)** - tronco 22-SN;
- **Bacino mare (Id. I)** - Rio Sa Canna;
- **Bacino Rio Perdaias (Id. L)** - Rio Perdaias (rami 1 e 2), Rio Ghiletta, 24-SN;

- **Bacino Rio Pescinas (Id. M)** - Rio Pescinas;
- **Bacino Rio Sturruliu (Id. N)** - Rio Sturruliu.

I bacini principali ed i sub-bacini che sottendono le sezioni verificate (per un maggior dettaglio si rimanda agli elaborati grafici allegati), comprendono la quasi totalità del territorio comunale di Gonnese ed interessano anche significative porzioni di territorio che ricadono in altri territori comunali, come Iglesias (Bacino A - sub-bacini 5, 10, 16c e 16d, Bacino B - sub-bacini 12, 13, 14a e 14b), Carbonia (Bacino A - sub-bacini 1, 4, 5 e 7) e Portoscuso (Bacino L).

Il bacino di maggiori dimensioni è quello di Sa Mesa (A), ed interessa la quasi totalità del centro abitato di Gonnese, oltre l'area lagunare di Sa Mesa, per una superficie complessiva di oltre 36 kmq, che comprende circa il 32% dell'intero territorio comunale.

Il bacino San Giorgio (B) ha una superficie poco inferiore ai 33 kmq, e comprende circa l'11% del territorio comunale nella parte nord-orientale.

Il bacino del Rio Perdaia (L) ha una superficie di oltre 6 kmq, e comprende circa l'10% del territorio comunale nella parte sud-occidentale.

I restanti bacini interessano una superficie di poco inferiore ai 13 kmq, riguardano corsi d'acqua e impluvi con sbocco diretto a mare o su altri territori comunali (Carbonia e Portoscuso) e comprendono circa il 27% del territorio comunale di Gonnese.

Il comportamento idrologico di un bacino è influenzato dalla sua morfologia; le caratteristiche geomorfiche possono essere distinte in planimetriche e orografiche.

Le prime esprimono le dimensioni geometriche orizzontali (per es. l'estensione ed il perimetro), la forma, l'organizzazione e lo sviluppo del reticolo fluviale, mentre le seconde esprimono il rilievo (l'altezza media) e le pendenze (sia dei versanti che delle aste fluviali).

Di seguito si riportano in dettaglio tali caratteristiche per tutti i bacini e sub-bacini come sopra determinati, ai fini dello studio delle portate di piena per i quattro tempi di ritorno previsti dal PAI.

Id.	Bacino	Superficie (mq)	Pendenza bacino	H media (m)	Lasta (Km)	Pendenza asta	H sezione finale (m)
A	Sa Masa	36.651.911	0.352	134.43	8.429	0.0178	0.00
1	Sub 1 - Rio Fadda	6.375.518	0.325	96.50	0.715	0.0201	26.09
2	Sub 2 - Rio Fadda	3.050.810	0.275	100.00	3.306	0.0352	40.47
3	Sub 3 - affl. Rio Fadda (2-SN2)	743.702	0.275	70.00	1.134	0.0467	40.47
4	Sub 4 - Rio Sibasca (ramo1)	3.612.172	0.425	150.00	3.580	0.0310	39.13
5	Sub 5 - Canale Monti	6.399.879	0.425	200.00	2.733	0.0534	39.13
6	Sub 6 - Rio Sibasca (ramo2)	733.808	0.425	120.00	1.096	0.0119	26.09
7	Sub 7 - Canale Monte Lisau	804.479	0.425	100.00	1.617	0.0643	26.09
8	Sub 8 - Rio Morimenta	1.303.690	0.275	41.43	1.133	0.0109	13.77
10	Sub 10 - Gutturu Carboni (monte)	5.041.655	0.425	200.00	3.801	0.0491	63.48
11	Sub 11 - Rio Gutturu Carboni (valle)	498.992	0.275	50.00	1.635	0.0303	14.00
16	Sub 16 - affl. Rio Cabriola	6.532.860	0.275	120.00	5.194	0.0916	4.00
16a	Sub 16a - Rio de Is Carres	281.911	0.431	70.50	1.160	0.1022	11.52
16b	Sub 16b - affl. G. su Forru (16-SN)	255.151	0.417	126.00	1.025	0.1148	67.32
16c	Sub 16c - Gutturu PaniCani	3.705.116	0.386	136.00	4.251	0.0881	101.82
16d	Sub 16d - Gutturu Lisau	1.124.752	0.515	134.50	2.693	0.1410	101.82
17	Sub 17 - Rio Cabriola	1.554.346	0.275	60.00	3.429	0.0040	0.00
B	San Giorgio	32.988.093	0.378	180.45	12.811	0.0184	14.30
12	Sub 12 - Rio de Gravellu (ramo1)	1.620.216	0.425	150.00	2.582	0.0558	21.61
13	Sub 13 - Rio San Giorgio (monte)	21.089.085	0.425	222.00	5.154	0.0279	76.14
14	Sub 14 - Rio San Giorgio (valle)	10.278.792	0.275	100.00	7.657	0.0739	14.30
14a	Sub 14a - Rio San Giorgio (ramo1)	1.799.177	0.478	53.00	2.203	0.0177	37.06
14b	Sub 14b - Canale de G. Rutta	5.970.285	0.379	307.00	5.628	0.0903	68.06
14c	Sub 14c - Rio Baccariu	538.364	0.381	147.00	1.071	0.1465	68.06
14d	Sub 14d - Rio de Gravellu (ramo2)	657.917	0.417	20.00	0.521	0.0077	16.78
C	Canale Mannu	2.511.801	0.275	150.00	2.118	0.0779	15.00
15	Sub 15 - Canale Mannu (ramo2)	2.511.801	0.275	150.00	2.118	0.0779	15.00
15a	Sub 15a - affl. C. Mannu (15-SN)	337.797	0.453	137.50	1.281	0.1631	33.13
15b	Sub 15b - Canale Mannu (ramo1)	507.843	0.434	107.00	1.184	0.1241	33.13
D	Bacino mare - Canale Su Passu Malu	175.395	0.200	86.00	0.642	0.2648	0.00
E	Bacino mare - Grifoneddu de s'Acqua	226.165	0.171	92.50	1.021	0.1803	0.00
F	Bacino mare - tronco 20-SN	423.102	0.154	65.00	0.647	0.1996	0.00
G	Bacino mare - Canale Golfo Leone	965.871	0.101	60.00	1.705	0.0692	0.00
H	Bacino mare - tronco 22-SN	600.276	0.290	74.50	1.043	0.1314	0.00
I	Bacino mare - Rio Sa Canna	2.060.655	0.173	64.00	2.036	0.0629	0.00
L	Rio Perdaias	6.126.439	0.074	89.00	3.575	0.0240	47.17
M	Rio Pescinas	1.193.925	0.028	77.50	1.653	0.0354	50.17
N	Rio Sturruliu	4.715.517	0.075	96.50	3.842	0.0268	44.90

16.1. STUDIO DELLA PORTATA DI PIENA

La portata di piena, utilizzata come base per i calcoli idraulici, si ottiene mediante la Formula Razionale come prodotto tra l'intensità di precipitazione i (relativa ad un evento avente durata d e periodo di ritorno T), il coefficiente di assorbimento ϕ , la superficie del bacino A , il coefficiente di ragguaglio della precipitazione $r(d,A)$ ed il coefficiente di laminazione ε . La massima portata di piena, calcolata considerando un evento di durata d pari alla durata critica (Θ), risulta:

$$Q = i(\Theta, T) \cdot r(\Theta, A) \cdot \phi \cdot A \cdot \varepsilon(\Theta)$$

Nel considerare le metodologie usualmente adottate per la valutazione delle portate di piena nel rispetto delle indicazioni delle Linee Guida del PAI già citate, si sono considerati due tipi di approccio:

1. il modello probabilistico regionale per la valutazione delle portate di piena basato sulla distribuzione probabilistica Log-Normale e Two Components Extreme Values applicati ai dati massimi annuali di portata al colmo;
2. quello a fondamento razionale, basato in genere su una schematizzazione in genere semplificata del processo di trasformazione afflussi-deflussi che nella sua usuale formulazione per la Sardegna utilizza le curve di possibilità pluviometrica date da Cao e altri e recentemente aggiornate.

Nel caso della Sardegna, la consistenza dei dati di portata disponibili, unitamente alla frequente necessità di dover stimare le portate in sezioni non osservate, suggerisce che la stima della portata di piena ad assegnata frequenza in ciascuna sezione idrologica debba essere determinata attraverso il confronto critico tra le diverse metodologie. Di seguito si riportano quelle utilizzate. In esse i parametri del bacino sono indicati con i simboli e le unità di misura riportati, mentre la portata di piena Q è espressa sempre in m^3/s .

16.2. CALCOLO DELL'INTENSITÀ DI PRECIPITAZIONE (Modello TCEV)

L'intensità di precipitazione che determina la massima portata di piena (intensità critica) si ottiene dalle curve di possibilità pluviometrica (legge di variazione dei massimi annuali di pioggia in funzione della durata di precipitazione d relativamente ad una assegnata frequenza di accadimento o periodo di ritorno T). Tale curva è generalmente riportata nella forma

$$h(T) = a \cdot d^n$$

Indagini sistematiche sul regime delle piogge intense in Sardegna hanno evidenziato, in molte delle serie storiche osservate, la presenza occasionale di valori particolarmente elevati della piovosità. Le distribuzioni probabilistiche comunemente adottate sottostimano spesso questi eventi estremi. Si è quindi pensato di utilizzare, per meglio interpretare il fenomeno, delle distribuzioni probabilistiche multi parametriche, che possono fornire stime accurate anche degli eventi più rari ed intensi. L'argomento è stato sviluppato nell'ambito di un programma di ricerca a livello nazionale, promosso dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, utilizzando il modello probabilistico a quattro parametri TCEV che ben interpreta le caratteristiche di frequenza delle serie storiche citate.

Il modello probabilistico TCEV è fondato sull'ipotesi che i valori estremi della grandezza idrologica considerata provengono da due differenti popolazioni di variabili aleatorie, originate da fenomeni meteorici diversi. La prima popolazione comprende gli eventi ordinari più frequenti e meno intensi e costituisce la componente di base mentre la seconda raccoglie gli eventi più rilevanti e rari e costituisce la componente straordinaria. I due differenti meccanismi climatici sono interpretati con un unico processo di tipo poissoniano nel quale la distribuzione probabilistica del massimo valore annuo è esprimibile mediante la relazione

$$F(x) = e^{-\lambda_1 e^{-x\eta/\mu} - \lambda^* \lambda_1^{1/\theta^*} e^{-x\eta/\mu\theta^*}} \quad (1)$$

In questa espressione, $F(x)$ rappresenta la probabilità che l'altezza di pioggia massima annua abbia un valore pari o inferiore ad x ed è legata al tempo di ritorno T espresso in anni dalle relazioni:

$$F(x) = 1 - 1/T \quad T = 1/(1 - F(x)) \quad (2)$$

mentre $\lambda^*, \theta^*, \lambda_1$ e μ sono i quattro parametri della distribuzione.

Dai primi due parametri λ^* e θ^* dipende il valore del coefficiente di asimmetria della distribuzione, dal terzo parametro λ_1 , oltre che dai primi due, dipende il valore del coefficiente di variazione mentre il quarto parametro μ , chiamato anche pioggia indice, rappresenta la media della distribuzione. La grandezza η è una funzione nota di $\lambda^*, \theta^*, \lambda_1$ e la sua espressione risulta:

$$\eta = (\ln \lambda_1 + 0.5772) - \sum_i \left[(-1)^i (\lambda^*)^i \Gamma(i/\theta^*) \right] / i! \quad (3)$$

dove Γ è la funzione Gamma.

Introducendo la variabile ridotta $x' = x/\mu$, pari al rapporto tra la variabile originaria e la sua media, l'espressione diventa:

$$F(x') = e^{-\lambda_1 e^{-x'} - \lambda^* \lambda_1^{1/\theta^*} e^{-x\eta/\theta^*}} \quad (4)$$

nota con il nome di curva di crescita.

Per la stima dei parametri della distribuzione viene usualmente adottata una procedura di tipo gerarchico. Essa procede attraverso tre successivi livelli di regionalizzazione nel primo dei quali viene ripartito il territorio in esame in una o più zone omogenee (ZO) contraddistinta ognuna da valori costanti di λ^* e θ^* , e quindi del coefficiente di asimmetria. Al secondo livello di regionalizzazione il territorio viene ulteriormente ripartito in sottozone omogenee (SZO) con valori costanti del parametro λ_1 , e quindi del coefficiente di variazione, mentre al terzo livello vengono stimati in ogni punto del territorio i valori della pioggia indice μ . I valori dei parametri sono usualmente determinati mediante un procedimento iterativo basato sul metodo di massima verosimiglianza.

Al primo livello di regionalizzazione delle piogge giornaliere, basato su 200 stazioni pluviometriche, è stata identificata un'unica ZO comprendente tutto il territorio regionale nella quale i parametri λ^* e θ^* valgono: $\lambda^* = 0.5717$ e $\theta^* = 2.207$.

Al secondo livello di regionalizzazione il territorio è stato ripartito in tre SZO con valori dei parametri λ_1 rispettivamente pari a 74.50, 21.20 e 6.68.

Al terzo livello di regionalizzazione, i valori locali della pioggia indice μ_g sono stati ottenuti mediante la tecnica dell'interpolazione stocastica tra i valori osservati nelle 200 stazioni pluviometriche.

Un procedimento analogo è stato adottato per la stima dei parametri relativi alle piogge brevi ed intense. In particolare l'indagine ha confermato la stessa ripartizione in ZO e SZO ottenute nello studio delle piogge giornaliere.

Nel caso delle piogge brevi ed intense i parametri λ^* , θ^* e λ_1 dipendono, in generale, dalla durata dell'evento.

Le indagini svolte al terzo livello di regionalizzazione hanno consentito di individuare una relazione di tipo monomio tra il valore della pioggia indice $\mu(\tau)$ e quello della durata τ , i cui coefficienti sono funzione della media μ_g della pioggia giornaliera nel medesimo sito. Esprimendo la durata τ in ore e l'altezza di pioggia in mm, questa relazione risulta:

$$\mu(\tau) = a_1 \tau^{b_1} \quad (5)$$

dove i due coefficienti a_1 e b_1 hanno le espressioni:

$$\begin{aligned} a_1 &= \mu_g / (0.886 \cdot 24^{b_1}) \\ b_1 &= -0.493 + 0.476 \text{Log} \mu_g \end{aligned} \quad (6)$$

Per determinare mediante le espressioni teoriche l'altezza di pioggia giornaliera con tempo di ritorno T assegnato in una specifica località, occorre calcolare tramite le espressioni (3) e (4) il valore di x' e moltiplicarlo per la pioggia indice μ_g nel punto considerato.

Allo scopo di evitare complesse determinazioni numeriche connesse con l'impiego delle due espressioni, sono state ricavate per le tre SZO delle relazioni esplicite di x' in funzione del logaritmo decimale del tempo di ritorno T , ottenute interpolando mediante un polinomio di secondo grado i valori corrispondenti a 27 tempi di ritorno compresi tra 2 e 1000 anni. Esse risultano:

$$\begin{aligned} \text{SZO 1} \quad x' &= 0.69319 + 0.72015 \text{Log} T + 3.1364 \cdot 10^{-2} (\text{Log} T)^2 \\ \text{SZO 2} \quad x' &= 0.60937 + 0.91699 \text{Log} T + 3.9932 \cdot 10^{-2} (\text{Log} T)^2 \\ \text{SZO 3} \quad x' &= 0.47839 + 1.2246 \text{Log} T + 5.3321 \cdot 10^{-2} (\text{Log} T)^2 \end{aligned}$$

L'errore massimo commesso adottando le espressioni approssimate sopra riportate invece che quelle esatte è risultato inferiore al 1.3%.

L'altezza di pioggia h con tempo di ritorno T , pari al prodotto $\mu_g x'$, risulta pertanto espressa dalle seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} \text{SZO 1} \quad h(T) &= \mu_g (0.69319 + 0.72015 \text{Log} T + 3.1364 \cdot 10^{-2} (\text{Log} T)^2) \\ \text{SZO 2} \quad h(T) &= \mu_g (0.60937 + 0.91699 \text{Log} T + 3.9932 \cdot 10^{-2} (\text{Log} T)^2) \\ \text{SZO 3} \quad h(T) &= \mu_g (0.47839 + 1.2246 \text{Log} T + 5.3321 \cdot 10^{-2} (\text{Log} T)^2) \end{aligned}$$

Nelle quali la pioggia indice μ_g nel sito considerato può essere stimata direttamente mediante la rappresentazione delle isoiete.

La formulazione di relazioni esplicite dell'altezza di pioggia negli eventi brevi ed intensi appare alquanto più complessa che in quelli giornalieri in quanto l'entità della precipitazione dipende oltre che dal tempo di ritorno T , anche dalla durata τ dell'evento.

Al fine di ricavare queste relazioni, sono stati calcolati preliminarmente in ciascuna delle tre SZO e per ogni tempo di ritorno, i valori di x' corrispondenti alle durate da 0.5 a 24 ore. Mentre nei tempi di ritorno minori i punti rappresentativi, riportati in scala logaritmica in funzione della durata, risultano ben allineati in tutto il campo lungo un'unica retta, al crescere di T essi rappresentano un ginocchio sempre più marcato ubicato in corrispondenza della durata di un'ora, dando luogo a due allineamenti distinti relativi a durate inferiori e superiori all'ora.

Per contenere entro limiti accettabili l'entità delle approssimazioni, la regolarizzazione è stata effettuata separatamente per i tempi di ritorno inferiori e superiori a 10 anni. Nei tempi di ritorno inferiori ($T \leq 10$ anni) è stata ricavata in ogni SZO un'unica relazione per tutte le durate, mentre in quelli superiori ($T > 10$ anni) sono state ricavate due relazioni interpolari: la prima relativa alle durate sino ad un'ora e la seconda relativa alle durate dall'ora alle 24 ore.

Vediamo il caso dei tempi di ritorno superiori ai 10 anni; come già detto non è possibile adottare una regressione unica per tutte le durate, ma occorre regolarizzare separatamente i valori di x' relativi a durate inferiori e superiori ad un'ora. In particolare si è ottenuto:

$$\begin{array}{ll} x' = a_2' \tau^{b_2'} & \text{per } \tau \leq 1 \text{ ora} \\ x' = a_2'' \tau^{b_2''} & \text{per } \tau \geq 1 \text{ ora} \end{array}$$

In ogni SZO i valori dei coefficienti sono stati successivamente regolarizzati al variare del tempo di ritorno, assumendo come variabile $\text{Log}T$. In particolare, sulla base di quanto sopra osservato, per entrambi i coefficienti a_2' e a_2'' è stata adottata un'unica espressione lineare, il che corrisponde ad imporre che le due rette di regressione si intersechino sempre in corrispondenza della durata di un'ora. Per quanto riguarda gli altri due coefficienti, è stata assunta una relazione di secondo grado per b_2' e una di primo per b_2'' . Le espressioni trovate risultano (utilizzando i coefficienti delle curve di possibilità pluviometrica di Deidda-Piga-Sechi):

$$\begin{array}{ll} a_2' = a_2'' = 0.46378 + 0.95234 \text{Log}T \\ \text{SZO 1} & b_2' = -0.18449 + 0.23032 \text{Log}T - 3.3330 \cdot 10^{-2} (\text{Log}T)^2 \\ & b_2'' = -1.0563 \cdot 10^{-2} - 7.9034 \cdot 10^{-3} \text{Log}T \end{array}$$

$$\begin{aligned}
& a_2' = a_2'' = 0.44182 + 1.0817 \log T \\
\text{SZO 2} \quad & b_2' = -0.18676 + 0.24310 \log T - 3.5453 \cdot 10^{-2} (\log T)^2 \\
& b_2'' = -5.6593 \cdot 10^{-3} - 4.0872 \cdot 10^{-3} \log T \\
& a_2' = a_2'' = 0.41273 + 1.1370 \log T \\
\text{SZO 3} \quad & b_2' = -0.19055 + 0.25937 \log T - 3.8160 \cdot 10^{-2} (\log T)^2 \\
& b_2'' = 1.5878 \cdot 10^{-2} + 7.6250 \cdot 10^{-3} \log T
\end{aligned}$$

In eventi con tempi di ritorno superiori a 10 anni, pertanto, l'altezza di pioggia h è rappresentata da due differenti relazioni esplicite a seconda che la durata sia inferiore o superiore ad 1 ora, le quali risultano:

$$\begin{aligned}
h(T, \tau) &= (a_1 a_2') \tau^{(b_1 + b_2')} && \text{per } \tau \leq 1 \text{ ora} \\
h(T, \tau) &= (a_1 a_2'') \tau^{(b_1 + b_2'')} && \text{per } \tau \geq 1 \text{ ora}
\end{aligned}$$

L'altezza di precipitazione, nel caso in esame, è stata calcolata utilizzando il metodo basato sul fenomeno della corrivazione, secondo il quale la durata di pioggia critica (Θ) è pari alla somma del tempo di formazione del deflusso superficiale t_f e del tempo di corrivazione del bacino t_c .

$$\Theta = t_c + t_f$$

Il tempo di corrivazione di un punto del bacino è il tempo necessario perché la goccia d'acqua caduta in quel punto possa raggiungere la sezione di chiusura del bacino considerato.

Il tempo di corrivazione del bacino T_c è invece il tempo necessario alla goccia di pioggia che cade nel punto idraulicamente più lontano per raggiungere la sezione di chiusura del bacino. Nell'individuazione del punto idraulicamente più lontano del bacino si è considerato ovviamente non solo la distanza planimetrica ma anche la quota del punto stesso.

Per la valutazione del tempo di corrivazione t_c sono state proposte moltissime espressioni empiriche fra le quali sembrano particolarmente adatte alla Sardegna le seguenti:

Il tempo di corrivazione t_c è stato ricavato utilizzando le diverse espressioni empiriche :

1) Soil Conservation Service

$$t_c = \frac{100 \cdot L^{0.8} \cdot [(1000 / CN) - 9]^{0.7}}{1900 \cdot i_{\text{versante}}^{0.5}}$$

dove:

L Lunghezza dell'asta principale in km
i Pendenza media del bacino (%)

CN Curve Number

2) Formula di Giandotti

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}}$$

3) Formula di Pasini

$$t_c = 0.108 \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{J_m}}$$

4) Formula VAPI

$$t_c = 0.212 \cdot A^{0.231} \cdot \left(\frac{H_m}{J_m} \right)^{0.289}$$

5) Formula di Ventura

$$t_c = 0.127 \cdot \sqrt{\frac{A}{J_m}}$$

A è la superficie del bacino, espressa in Km²;

L è la lunghezza dell'asta principale, espressa in Km;

H_m è la quota media del bacino, espressa in m s.l.m.;

H₀ è la quota della sezione di chiusura, espressa in m s.l.m.;

J_m è la pendenza media dell'asta principale

Data la elevata empiricità delle formule, testimoniata anche dalla eterogeneità delle stime, risulta generalmente cautelativo assumere il valore più critico, cioè il più piccolo dei valori tra quelli calcolati.

Il tempo di formazione del ruscellamento superficiale t_f è stato calcolato in modo iterativo secondo la seguente formulazione:

$$t_f = \frac{I_a}{i(\Theta, r)}$$

dove I_a rappresenta l'assorbimento iniziale e $i(\Theta_c)$ l'intensità di pioggia corrispondente alla durata critica (vedi più avanti il metodo SCS-Curve Number).

16.2.1. Calcolo del Coefficiente di Ragguaglio

Il coefficiente di ragguaglio delle piogge all'area $r(d,A)$, funzione della durata d e della superficie del bacino A , è stato calcolato sulla base della formulazione proposta nel Flood Studies Report:

$$r = 1 - \left(0.0394 A^{0.354}\right) \Theta^{(-0.40+0.0208 \ln(4.6-\ln(A)))} \quad \text{per } A < 20 \text{ km}^2$$

$$r = 1 - \left(0.0394 A^{0.354}\right) \Theta^{(-0.40+0.003832(4.6-\ln(A)))} \quad \text{per } A > 20 \text{ km}^2$$

16.2.2. Calcolo del Coefficiente di Assorbimento

Il coefficiente di assorbimento ϕ può essere calcolato con il metodo del SCS-Curve Number, proposto dal Soil Conservation Service, che permette di ricavare la pioggia netta in base alla seguente espressione:

$$h_{netta} = \frac{(h_{lorda} - I_a)^2}{(h_{lorda} + S - I_a)}$$

dove h_{lorda} è la pioggia stimata per assegnata distribuzione di probabilità, S (in mm) rappresenta l'assorbimento del bacino, espresso dalla relazione

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1\right)$$

e I_a è l'assorbimento iniziale, legato empiricamente al parametro S dalla relazione:

$$I_a = 0.2 \cdot S$$

I valori del parametro di assorbimento CN (Curve Number) e della relativa capacità massima di assorbimento S , sono calcolati sempre secondo la metodologia SCS-CN.

L'applicazione di questo metodo presuppone, oltre la conoscenza della precipitazione totale H , la stima del massimo assorbimento S del suolo che, teoricamente, può assumere tutti i valori positivi compresi tra 0 (superficie perfettamente impermeabile) a infinito (nessuna formazione di deflusso superficiale).

La valutazione di S , presuppone la stima del parametro CN , denominato Curve Number, che assume valori compresi tra 100 e 0, ed è legato alle caratteristiche del terreno e della copertura vegetale. Il parametro CN rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso, è un

fattore decrescente della permeabilità e risulta legato alla tipologia litologica del suolo, all'uso del suolo ed al grado di umidità del terreno prima dell'evento meteorico esaminato.

La stima del CN presuppone inizialmente la determinazione del gruppo idrologico 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.

Gruppo	TIPO DI TERRENO
A	Suolo con alta capacità di infiltrazione, anche se già bagnato. Principalmente sabbia e ghiaia, con strati profondi e ben drenati.
B	Suolo con moderata capacità di infiltrazione allorquando risultano bagnati. Moderato drenaggio profondo. Tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana
C	Suolo con piccola capacità di infiltrazione allorquando risultano bagnati. Solitamente presentano uno strato che impedisce il drenaggio verticale o possiedono una tessitura da moderatamente fina a fina.
D	Suolo con molto piccola capacità di infiltrazione. Principalmente argille con alto potenziale di rigonfiamento; suoli con livello di falda alto e permanente; suoli con strati argillosi in superficie; suoli poco profondi su strati impermeabili o semi-impermeabili.

Tab.1 - Classificazione dei tipi idrologici di suolo secondo il metodo SCS-CN

USO DEL SUOLO	TIPO DI DRENAGGIO	CONDIZIONI IDROLOGICHE	TIPO DI TERRENO			
Terreno Residenziale			A	B	C	D
Zone urbane	85% impermeabile	qualsiasi	89	92	94	95
Zone industriali	72% impermeabile	" "	81	88	91	93
Case a schiera	65% impermeabile	" "	77	85	90	92
Ville isolate	25% impermeabile	" "	54	70	80	85
Parcheggi	100% impermeabile	" "	98	98	98	98
Parchi	75% a verde	" "	39	71	74	80
Strade pavimentate	Con cunette e fognatura	" "	98	98	98	98
Strade in macadam	---	" "	76	85	89	91
Strade sterrate	---	" "	72	82	87	89
Terreno Agricolo						
Prato stabile	---	qualsiasi	77	86	91	94
Seminativo	Solchi a rittocchino	Cattive	65	76	84	88
Seminativo	Solchi a rittocchino	Buone	63	75	83	87
Seminativo	Solchi a traversochino	Cattive	63	74	82	85
Seminativo	Solchi a traversochino	Buone	61	73	81	84
Seminativo	Terrazzato	Cattive	61	72	79	82
Seminativo	Terrazzato	Buone	59	70	78	81
Pascolo	---	Cattive	68	79	86	89
Pascolo	---	Discrete	49	69	79	84
Pascolo	---	Buone	39	71	64	80
Erbaio	---	qualsiasi	30	58	71	78
Terreno boschivo	---	Cattive	45	66	77	83
Terreno boschivo	---	Discrete	36	60	73	79
Terreno boschivo	---	Buone	25	55	70	77

Tab.2 - Valori del CN in funzione delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale e per condizioni medie di umidità antecedenti l'evento (AMCII)

Per quanto riguarda l'influenza dello stato di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico, l'SCS individua tre classi, AMC I, AMC II e AMC III (AMC=Antecedent Moisture Condition), caratterizzate da differenti condizioni iniziali a seconda del valore assunto dall'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento meteorico.

L'attribuzione della classe AMC si basa sui criteri riportati nella tabella seguente.

Classe AMC	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	< 12,7 mm	< 35,5 mm
II	12,7 - 28,0 mm	35,5 - 53,3 mm
III	> 28,0 mm	> 53,3 mm

Tab.3 - Attribuzione della classe AMC

I valori nella tabella 2 si riferiscono ad una condizione media di umidità del terreno all'inizio della precipitazione (classe II). Il CN così individuato può essere adattato a diverse condizioni di umidità attraverso le seguenti formule di conversione:

$$CN(I) = \frac{CN(II)}{2.3 - 0.013 \cdot CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{CN(II)}{0.43 + 0.0057 \cdot CN(II)}$$

A ciascuna area omogenea, di nota superficie, viene poi attribuito l'appropriato CN; il valore di CN dell'intero bacino si ottiene come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per le singole aree omogenee.

Id.	Bacino	CN
A	Sa Masa	81.62
1	Sub 1 - Rio Fadda	80.97
2	Sub 2 - Rio Fadda	70.40
3	Sub 3 - affl. Rio Fadda (2-SN2)	70.10
4	Sub 4 - Rio Sibasca (ramo1)	86.00
5	Sub 5 - Canale Monti	77.45
6	Sub 6 - Rio Sibasca (ramo2)	86.40
7	Sub 7 - Canale Monte Lisau	86.00
8	Sub 8 - Rio Morimenta	75.94
10	Sub 10 - Gutturu Carboni (monte)	87.35
11	Sub 11 - Rio Gutturu Carboni (valle)	83.98
16	Sub 16 - affl. Rio Cabriola	86.00
16a	Sub 16a - Rio de Is Carres	86.00
16b	Sub 16b - affl. G. suForru (16-SN)	86.00
16c	Sub 16c - Gutturu PaniCani	86.00
16d	Sub 16d - Gutturu Lisau	86.00
17	Sub 17 - Rio Cabriola	81.20
B	San Giorgio	89.32
12	Sub 12 - Rio de Gravellu (ramo1)	87.30
13	Sub 13 - Rio San Giorgio (monte)	91.63
14	Sub 14 - Rio San Giorgio (valle)	84.88
14a	Sub 14a - Rio San Giorgio (ramo1)	86.50
14b	Sub 14b - Canale de G. Rutta	86.00
14c	Sub 14c - Rio Baccariu	86.00
14d	Sub 14d - Rio de Gravellu (ramo2)	83.00
C	Canale Mannu	86.00
15	Sub 15 - Canale Mannu (ramo2)	86.00
15a	Sub 15a - affl. C. Mannu (15-SN)	86.00
15b	Sub 15b - Canale Mannu (ramo1)	86.00
D	Bacino mare - Canale Su Passu Malu	86.00
E	Bacino mare - Grifoneddu de s'Acqua	86.00
F	Bacino mare - tronco 20-SN	86.00
G	Bacino mare - Canale Golfo Leone	82.40
H	Bacino mare - tronco 22-SN	83.30
I	Bacino mare - Rio Sa Canna	91.00
L	Rio Perdaias	84.78
M	Rio Pescinas	85.15
N	Rio Sturruliu	77.00

16.2.3. Calcolo del Coefficiente di Laminazione

Il coefficiente di laminazione ε , anch'esso funzione della durata (Θ), è stato valutato in base all'estensione e alle caratteristiche topografiche del bacino sotteso, facendo riferimento ai modelli concettuali della corrivazione e dell'invaso.

16.3. CALCOLO DELL'INTENSITÀ DI PRECIPITAZIONE *(Curve di possibilità pluviometrica - Studio Cao-Puddu-Pazzaglia, come aggiornato da Piga-Liguori)*

Il calcolo idrologico del bacino imbrifero, determinato sulla CTR al 10.000, è stato eseguito sempre utilizzando il metodo cinematico, che tiene conto sostanzialmente del tempo T_c di corrivazione e dell'altezza di pioggia h caduta nel bacino stesso nel tempo di pioggia T_p .

Sostanzialmente, il calcolo della portata del corso d'acqua si basa su una Curva di piovosità detta "Curva dei Casi Critici", che rappresenta il limite superiore degli eventi meteorici compatibili con la rete, considerati con il dovuto grado di sicurezza. La curva dei casi critici definisce pertanto le altezze di pioggia massime compatibili con la rete in funzione della durata, o viceversa: tutti gli eventi che hanno, a parità di durata, un'altezza di pioggia inferiore a quelli della curva, risultano senz'altro contenuti nella rete dimensionata per quella particolare curva dei casi critici.

Il grado di criticità della curva viene in genere rappresentato dalla frequenza comune agli eventi che la compongono, definita dal numero di volte che si ritiene possano essere superati in un determinato periodo. Si utilizza quindi la frequenza di superamento $F=1/N$, intendendo che l'altezza di pioggia relativa ad una certa durata verrà superata mediamente solo una volta ogni "N" anni; tale frequenza sarà ovviamente anche quella con la quale andrà in crisi la rete stessa.

Il valore della frequenza costituisce pertanto, un elemento fondamentale della verifica in funzione dell'entità del danno conseguente al mal funzionamento del corso d'acqua nelle sue differenti sezioni (superamento del franco previsto).

Per la verifica dei tronchi critici in esame, sono stati presi in considerazione i tempi di ritorno dell'evento già citati (50,100,200 e 500 anni).

In base a queste considerazioni, la verifica delle sezioni viene fatta sulla base dello studio idrologico "Determinazione statistica delle curve di possibilità pluviometrica" degli autori C. Cao, G. Pazzaglia, P. Puddu, come rielaborato da Piga-Liguori adottando le stesse metodologie ma aggiornando la base dati.

Tale studio è normalmente utilizzato nella Regione Sardegna e delimita vaste zone del territorio isolano caratterizzate da uno stesso tipo di piovosità, che viene desunto dai dati delle stazioni pluviografiche situate nell'ambito delle stesse zone a seguito di un rigoroso controllo statistico.

Senza dilungarci oltre nel metodo utilizzato, il Comune di Gonnese fa parte del 2° dei quattro gruppi di stazioni omogenee individuati dallo studio citato e come tale, l'equazione della curva di possibilità pluviometrica, con i parametri aggiornati, è la seguente:

$$h = h_1 \times T_c^{(a - b \cdot \mu)}$$

dove:

h = altezza di precipitazione (mm)

$\log h_1 = c + d \cdot \mu$

T_c = durata dell'evento meteorico (ore)

μ = frattile della distribuzione normale standardizzata per i vari periodi di ritorno $T = 50, 100, 200, 500$ anni

a, b, c, d sono parametri legati alla posizione geografica del bacino ed assumono i seguenti valori:

$a = 0,359699;$ $b = 0.0179413;$ $c = 1,296258;$ $d = 0.167487.$

Per la determinazione del tempo di corrvazione si sono utilizzate le stesse formule già citate per l'applicazione del modello TCEV.

16.4. RISULTATI DEL CALCOLO

Nei casi in esame, date le dimensioni dei bacini, la possibile influenza del trasporto solido e la pericolosità di esondazione che può interessare anche centri abitati e aree urbanizzate in generale, si è considerata la portata lorda. Si evidenzia comunque la possibilità, in fase di studio di variante al PAI, di procedere ad un'analisi di maggior dettaglio della copertura vegetale, delle caratteristiche del suolo e delle relative condizioni iniziali di umidità da cui la valutazione del coefficiente di deflusso sostanzialmente dipende.

Per quanto riguarda le sezioni considerate nei calcoli di verifica, si rimanda alla definizione del modello del terreno, alle elaborazioni di calcolo derivanti dalla simulazione delle condizioni di deflusso in piena per i vari TR, alle tabelle di calcolo ed agli elaborati grafici di dettaglio allegati.

I valori ottenuti con i metodi sopra descritti, per ciascun bacino, sono riassunti nelle tabelle riportate di seguito. Le portate sono riferite alle principali sezioni di calcolo per ciascun sub-bacino (come da elaborato grafico di dettaglio).

Le prime due tabelle riportano i dati di portata ricavati nelle sezioni principali ed i contributi unitari in mc/sec x kmq. Fra i valori di portata ottenuti con il metodo TCEV e quello razionale, utilizzando le curve aggiornate da Piga-Liguori, si è proceduto ad utilizzare quelli superiori.

Id.	Bacino	Portate max (mc/sec)				
		50	100	200	500	Note
A	Sa Masa - innesto Rio Cabriola	157.97	174.49	191.12	213.40	Giandotti
A	Sa Masa - sbocco a mare	219.69	187.62	205.54	229.54	Giandotti
B	San Giorgio - sub-bacino 13	130.54	144.31	158.18	176.78	Giandotti
B	San Giorgio - sbocco Sa Masa	235.04	260.12	285.42	319.38	Ventura
C	Canale Mannu - sbocco Sa Masa	39.74	47.07	54.26	63.58	SCS
D	Bacino mare - Canale Su Passu Malu	10.03	11.26	12.53	14.25	Pasini
E	Bacino mare - Grifoneddu de s'Acqua	10.28	11.53	12.80	14.54	Ventura
F	Bacino mare - tronco 20-SN	17.99	20.16	22.38	25.40	Pasini
G	Bacino mare - Canale Golfo Leone	19.41	21.64	23.91	26.98	Ventura
H	Bacino mare - tronco 22-SN	18.38	20.55	22.77	26.73	SCS
I	Bacino mare - Rio Sa Canna	32.00	35.61	39.27	44.67	Pasini
L	Rio Perdaias	59.35	68.86	78.38	90.96	SCS
M	Rio Pescinas	18.09	20.13	22.20	24.99	Pasini
N	Rio Sturruliu	40.19	44.53	48.91	54.80	Ventura

Id.	Bacino	Contributo unitario (mc/sec x kmq)			
		50	100	200	500
A	Sa Masa - innesto Rio Cabriola	5.53	6.11	6.69	7.47
A	Sa Masa - sbocco a mare	7.63	8.45	9.28	10.38
B	San Giorgio - sub-bacino 13	6.19	6.84	7.50	8.38
B	San Giorgio - sbocco Sa Masa	8.78	9.73	10.69	11.98
C	Canale Mannu - sbocco Sa Masa	21.05	24.93	28.74	33.67
D	Bacino mare - Canale Su Passu Malu	57.19	64.20	71.44	81.25
E	Bacino mare - Grifoneddu de s'Acqua	45.45	50.98	56.60	64.29
F	Bacino mare - tronco 20-SN	42.52	47.65	52.90	60.03
G	Bacino mare - Canale Golfo Leone	20.10	22.40	24.75	27.93
H	Bacino mare - tronco 22-SN	30.62	34.23	37.93	44.53
I	Bacino mare - Rio Sa Canna	15.53	17.28	19.06	21.68
L	Rio Perdaias	9.69	11.24	12.79	14.85
M	Rio Pescinas	15.15	16.86	18.59	20.93
N	Rio Sturruliu	8.52	9.44	10.37	11.62

Nelle note sono riportate le formule empiriche del tempo di corrivazione utilizzate per il calcolo della portata. In via cautelativa e stante le caratteristiche del presente studio, per le verifiche idrauliche riportate in allegato, sono stati utilizzati i valori di portata maggiori. Per quanto già riportato nei capitoli precedenti, ci si riserva la possibilità, in fase di studio di variante al PAI, di procedere ad adeguamenti e affinamenti in merito.

Di seguito viene riportata la tabella di sintesi delle portate di calcolo utilizzate.

Id.	Bacino - Corso d'acqua	Q (mc/sec)			
		Tr=50	Tr=100	Tr=200	Tr=500
A	Sa Masa				
	Rio Fadda (ramo 1) - Sub-bacino 2	16.87	18.64	20.41	22.79
	tronco 2-SN2 - Sub-bacino 3	4.11	4.54	4.98	5.56
	Rio Fadda (ramo 2) - Sub-bacino 1	25.27	27.91	30.57	34.14
	tronco 1-SN - Sub-bacino 1	30.57	33.77	36.99	41.30
	Rio Fadda (ramo 3) - Sub-bacino 1	56.24	62.12	68.05	75.98
	Canale Monti - Sub-bacino 5	35.39	39.09	42.82	47.81
	Rio Sibasca (ramo 1) - Sub-bacino 4	19.98	22.07	24.17	26.99
	Rio Sibasca (ramo 2) - Sub-bacino 6	59.43	65.64	71.90	80.28
	Canale Monte Lisau - Sub-bacino 7	4.45	4.91	5.38	6.01
	Rio Morimenta - Sub-bacino 8	127.33	140.64	154.05	172.01
	Gutturu Carboni (monte) - Sub-bacino 10	27.88	30.80	33.73	37.66
	Gutturu Carboni (valle) - Sub-bacino 11	30.64	33.85	37.07	41.39
	Rio Cabriola (ramo 1) - Sub-bacino 17	167.68	185.24	202.92	226.61
	Gutturu Lisau - Sub-bacino 16d	8.58	9.50	10.43	11.68
	Gutturu PaniCani (ramo 1) - Sub-bacino 16c	4.63	5.13	5.63	6.31
	Canale Bingias - Sub-bacino 16c	23.37	25.87	28.40	31.79
	Gutturu PaniCani (ramo 2) - Sub-bacino 16c	28.28	31.31	34.37	38.47
	Gutturu Su Forru (ramo 1) - Sub-bacino 16	38.68	42.83	47.01	52.62
	tronco 16-SN - Sub-bacino 16b	1.95	2.16	2.37	2.65
	Gutturu Su Forru (ramo 2) - Sub-bacino 16	46.66	51.66	56.70	63.47
	Rio de Is Carres (ramo 1) - Sub-bacino 16a	2.15	2.38	2.61	2.93
	Rio de Is Carres (ramo 2) - Sub-bacino 16	49.86	96.08	109.50	127.28
	Rio Cabriola (ramo 2) - Sub-bacino 17	219.69	187.62	205.54	229.54
B	San Giorgio				
	Canale de G. Rutta - Sub-bacino 14b	52.43	58.11	63.84	71.55
	Rio Baccariu (ramo 2) - Sub-bacino 14c	4.73	5.24	5.76	6.45
	Rio Baccariu (ramo 1) - Sub-bacino 14	58.89	65.26	71.71	80.36
	Rio San Giorgio (ramo 1) - Sub-bacino 14a	146.34	161.82	177.42	198.34
	Rio San Giorgio (ramo 2) - Sub-bacino 14	212.57	235.22	258.06	288.72
	Rio de Gravellu (ramo 1) - Sub-bacino 12	11.53	12.78	14.04	15.73
	tronco 2-SN1 - Sub-bacino 12	2.77	3.07	3.37	3.78
	Rio de Gravellu (ramo 2) - Sub-bacino 14d	20.01	22.17	24.36	27.30
	Rio San Giorgio (ramo 3) - Sub-bacino 14	235.04	260.12	285.42	319.38
C	Canale Mannu				
	tronco 15-SN - Sub-bacino 15a	7.11	8.42	9.71	11.37
	Canale Mannu (ramo 1) - Sub-bacino 15b	10.69	12.66	14.60	17.10
	Canale Mannu (ramo 2) - Sub-bacino 15	39.74	47.07	54.26	63.58
D	Bacino mare - Canale Su Passu Malu				
	Canale Su Passu Malu	10.03	11.26	12.53	14.25
E	Bacino mare - Grifoneddu de s'Acqua				
	Grifoneddu de s'Acqua	10.28	11.53	12.80	14.54
F	Bacino mare - tronco 20-SN				
	tronco 20-SN	17.99	20.16	22.38	25.40
G	Bacino mare - Canale Golfo Leone				
	Canale Golfo Leone	19.41	21.64	23.91	26.98
H	Bacino mare - tronco 22-SN				
	tronco 22-SN	18.38	20.55	22.77	26.73
I	Bacino mare - Rio Sa Canna				
	Rio Sa Canna	32.00	35.61	39.27	44.67

L	Bacino Rio Perdaias				
	Rio Ghilletta	42.77	49.63	56.49	65.56
	Rio Perdaias (ramo 1)	8.05	9.34	10.64	12.34
	Rio Perdaias (ramo 2)	53.16	61.68	70.21	81.48
	24-SN	4.70	5.45	6.20	7.20
	Rio Perdaias (ramo 3)	59.35	68.86	78.38	90.96
M	Rio Pescinas				
	Rio Pescinas	18.09	20.13	22.20	24.99
N	Rio Sturruliu				
	Rio Sturruliu	40.19	44.53	48.91	54.80

Le sezioni di riferimento per le portate riportate nella tabella precedente, sono considerate quelle terminali dei vari rami presi in considerazione. Nelle varie sezioni intermedie le portate sono state calcolate attraverso l'utilizzo dei contributi unitari calcolati per i vari bacini. Nel centro urbano le sezioni sulle quali è stato effettuato il calcolo della portata sono decisamente più ravvicinate.

17. ANALISI IDRAULICA

17.1. CALCOLO DELLE ALTEZZE DI MOTO PERMANENTE

17.1.1. Determinazione del profilo della corrente

Il profilo della corrente è stato determinato ipotizzando condizioni di moto permanente, dato che le variazioni di portata nel tempo in occasione delle piene naturali non sono così rapide da rendere necessaria un'analisi in condizioni di moto vario.

Il buon inalveamento della corrente consente altresì di considerare la corrente con una schematizzazione monodimensionale, essendo assenti esondazioni con componenti del moto ortogonali all'asse del corso d'acqua, e potendo così ricorrere a schemi di calcolo sufficientemente semplici e robusti da non destare problemi numerici e necessità di complesse analisi di sensitività per la validazione del modello stesso.

In particolare, è stato utilizzato il codice di calcolo HEC RAS, descritto nel paragrafo successivo.

17.1.2. Il codice di calcolo HEC RAS

HEC RAS è un codice sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers. Il software è in grado di analizzare e risolvere i calcoli legati al tracciamento del profilo idrico di un corso d'acqua in regime di moto permanente e/o in regime di moto vario, nonché le problematiche legate al trasporto solido.

In ciascuna di queste tre tipologie di studio il programma è in grado di utilizzare sia le proprietà intrinseche del terreno (in particolare in termini di coefficiente di scabrezza di Manning), sia le proprietà geometriche della sezione del corso d'acqua.

17.1.3. Componenti idrauliche dell'analisi

Questa componente del sistema di modellazione è da utilizzare per il calcolo della superficie idrica di correnti gradualmente variate. Il sistema può analizzare una rete di canali o un singolo corso d'acqua.

Per l'analisi del moto, HEC RAS richiede la portata nota su ogni ramo (o parte di esso), inoltre è necessario definire le condizioni al contorno a monte (che saranno valide per una corrente veloce) e a valle (che saranno valide per una corrente lenta) dei rami unitamente alle caratteristiche delle confluenze; il software permette di imporre una corrente lenta, un regime di corrente veloce ovvero di determinare autonomamente il profilo della corrente in regime misto.

Le condizioni al contorno utilizzabili sono:

- altezza nota del pelo libero;
- passaggio per l'altezza critica;
- altezza di moto uniforme (per una particolare pendenza assegnata);
- scala delle portate.

La procedura di calcolo è basata sulla risoluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia, in cui le perdite di carico sono valutate tramite il coefficiente di scabrezza di Manning.

È possibile valutare i fenomeni di contrazione e allargamento della corrente tramite opportuni coefficienti di contrazione/espansione allorquando si abbiano variazioni di sezione in corti tratti (è il caso ad esempio in cui si hanno restringimenti dovuti al passaggio tra le pile di un ponte ed il conseguente allargamento).

Nei casi in cui la corrente non dovesse essere gradualmente variata viene utilizzata l'equazione del momento della quantità di moto (automaticamente, con l'opzione "regime misto", nei passaggi da corrente veloce a lenta, o su opzione nelle confluenze).

Il punto di partenza è l'input della geometria del sistema, costituito dal corso d'acqua principale e da tutti gli affluenti, le sezioni trasversali, tutte le interferenze (ponti, passaggi all'interno di condotte circolari, a sezione rettangolare e comunque di qualunque forma, chiuse, ma in generale ogni variazione di sezione e/o la sua ostruzione).

Ogni sezione, di un determinato ramo del corso d'acqua, è identificata univocamente da un numero positivo, crescente nel verso opposto a quello di scorrimento della corrente (quindi da valle verso monte).

In generale ognuna di queste sezioni è suddivisa in tre porzioni che in prima istanza possono essere pensate come la savanella centrale (*main channel*) e le due aree golenali adiacenti (*left overbank* e *right overbank*). Tale suddivisione consente di ripartire la corrente in tre porzioni, considerando, per ognuna, velocità, portata e scabrezza diverse (è il caso, ad esempio, di savanella rivestita ed aree golenali con una certa copertura vegetale), ma con pari energia totale.

Una volta completato l'input geometrico dei dati, occorre fornire i valori di portata da mettere in conto nelle sezioni.

Nei casi di moto permanente il valore della portata Q è costante nel tempo, e sarà possibile fornire un valore di Q per ciascuna sezione, o, più semplicemente, si può inserire il valore solo nelle sezioni che hanno un cambiamento di portata. Nei casi di moto vario è possibile fornire un idrogramma con portata variabile col passo temporale desiderato. Nei casi di moto vario è possibile valutare l'efficacia di un'eventuale cassa d'espansione, così come gli effetti di un'idrovora che da tale area di espansione dovesse pompare le acque su un altro corpo idrico, ecc.

I risultati ottenuti tramite il calcolo possono essere visualizzati graficamente, quali ad esempio l'andamento del profilo longitudinale con l'indicazione del fondo del corso d'acqua, l'altezza critica, l'altezza di moto uniforme, la quota del pelo libero, l'altezza totale e tutte le altre grandezze che servono a descrivere compiutamente il moto.

Ovviamente le stesse grandezze possono essere ricavate in forma tabellare sezione per sezione.

17.1.4.1 calcoli idraulici

La metodologia utilizzata per la valutazione delle grandezze idrauliche che regolano il moto della corrente è il Metodo II descritto in "*Backwater Curves in River Channels*" EM 1110-2-1409 (USACE 1959).

Le grandezze idrauliche fondamentali, che intervengono nei processi che determinano il profilo della corrente ed i fenomeni legati al trasporto solido, sono la velocità della corrente, l'altezza del pelo libero, l'energia totale ed il suo gradiente.

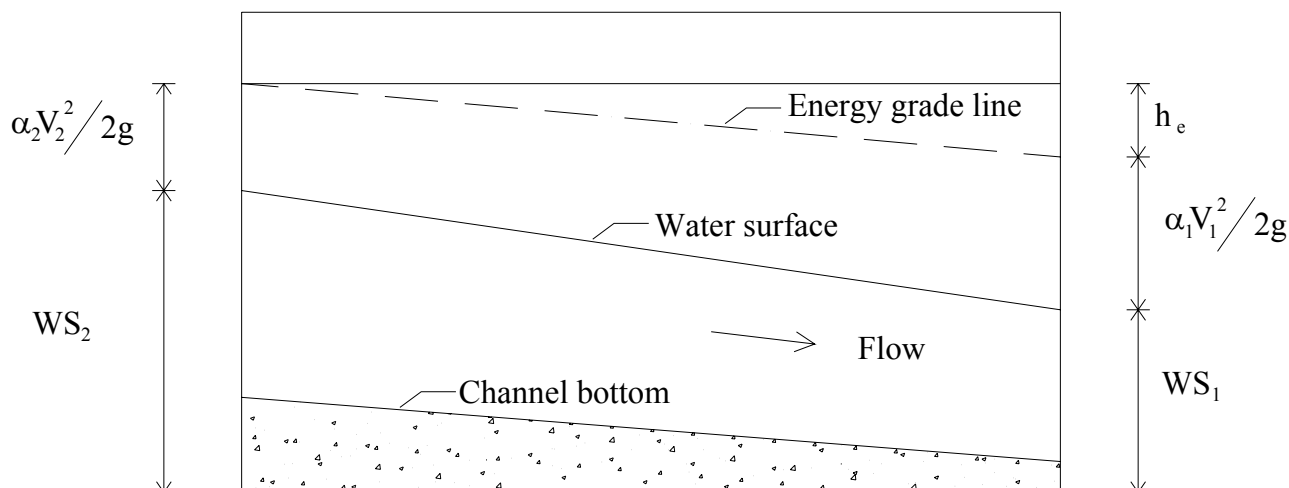


Fig. 3.1 - Carichi idraulici in due sezioni di calcolo consecutive

Nella Fig. 3.1 sono messe in evidenza le grandezze che compaiono nell'equazione (1) (equazione di bilancio dell'energia).

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

in cui si hanno:

- g : accelerazione di gravità;
- h_e : perdita di energia;
- V_1, V_2 : velocità media, riferita all'area della sezione bagnata, e relativa alla portata data;
- WS_1, WS_2 : quota del pelo libero della corrente (per il dato valore di portata) rispetto uno zero convenzionale;
- α_1, α_2 : coefficienti di ragguaglio delle potenze cinetiche (o coeff. di *Coriolis*).

17.1.5. Perdite di carico

L'input della geometria del sistema svolge un ruolo determinante proprio perché tramite la definizione di questa avviene il calcolo del profilo di corrente. Occorre quindi fornire al programma le sezioni trasversali del fiume e le distanze relative tra queste.

Come già scritto le perdite per attrito sono calcolate tramite il Metodo II descritto in "*Backwater Curves in River Channels*" EM 1110-2-1409 (USACE 1959).

Come riportato nell'equazione 2), la perdita di carico " h_e " è data dalla somma di due componenti:

- h_f : perdita di energia per attrito
- h_o : perdita di energia legata alla forma della sezione

$$h_e = h_f + h_o \quad (2)$$

Le perdite dovute alla contrazione o all'allargamento della sezione sono valutate nel termine h_o .

17.1.5.1. Perdite per attrito

Come già scritto la sezione trasversale è suddivisa in porzioni aventi analoghe proprietà idrauliche nella direzione del flusso, ciascuna di queste è suddivisa in *sub-sezioni* ed in ciascuna di esse le perdite per attrito sono calcolate tramite la relazione:

$$h_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2 \quad (3)$$

in cui:

$$K = \sum_{j=1}^{NSS} \frac{1}{n_j} \frac{\frac{A_{2j} + A_{1j}}{2} \left(\frac{R_{2j} + R_{1j}}{2} \right)^{2/3}}{\sqrt{L_j}} \quad (4)$$

- A_{1j}, A_{2j} : aree delle sezioni, normali al flusso, rispettivamente di valle e di monte;
- NSS: numero totale di *sub-sezioni* in cui è suddivisa una sezione;
- K: total conveyance del tratto compreso tra le due sezioni
- L_j : distanza tra le j esime *sub-sezioni*;
- n_j : coeff. di scabrezza di Manning tra le j esime *sub-sezioni*;
- Q: portata;
- R_{1j}, R_{2j} : raggi idraulici delle corrispondenti sezioni.

17.1.5.2. Perdite per contrazione ed espansione

1 Le perdite per contrazione ed espansione della corrente sono valutate tramite l'equazione 5) riportata di seguito:

$$h_o = C_L \left(\frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right) \quad (5)$$

in cui C_L è il coefficiente di contrazione (positivo) o espansione (negativo).

Ogni sezione descritta da un numero N di punti è suddivisa, come già detto in precedenza in tre "porzioni" (*left overbank*, *main channel*, *right overbank*), come illustrato in Fig. 3.2.

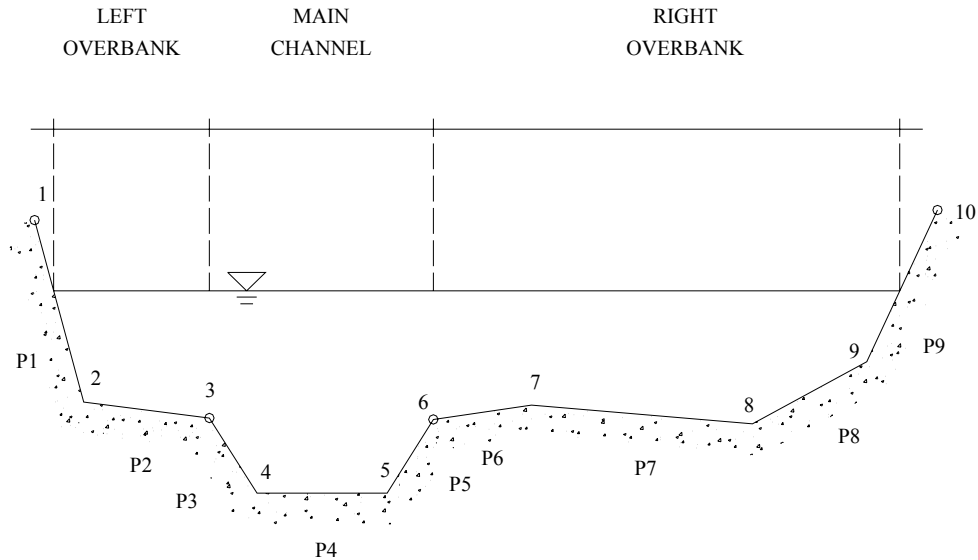


Fig. 3.2 - Suddivisione della sezione in 3 componenti

Ogni porzione è ulteriormente suddivisa in *sub-section*, come illustrato in Fig. 3.3.

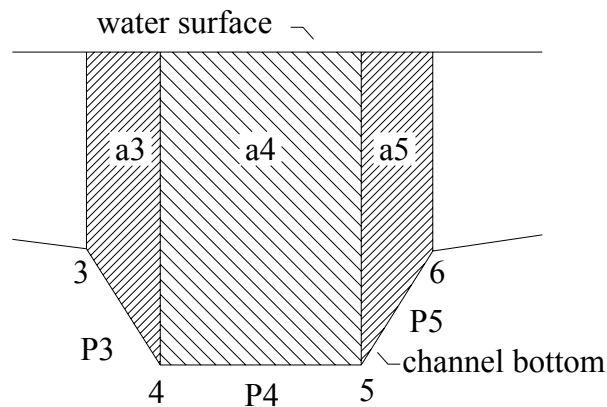


Fig. 3.3 - Scomposizione di una componente della sezione in sub-sezioni

Ad esempio l'area corrispondente al *main channel* è data dalla sommatoria delle aree delle sub-section che la compongono secondo quanto riportato in Fig. 3.3:

$$A_j = a_3 + a_4 + a_5 \quad (6)$$

così come:

$$P_j = p_3 + p_4 + p_5 \quad (7)$$

in cui P è il contorno bagnato della sezione.

Il raggio idraulico del *main channel* è calcolato come rapporto tra le somme delle aree A_k e la somma dei contorni bagnati P_k delle singole sub-section tramite la relazione:

$$R_j = \frac{A_j}{P_j} = \frac{\sum A_k}{\sum P_k} \quad (8)$$

dove A_j , P_j ed R_j sono rispettivamente l'area, il contorno bagnato ed il raggio idraulico della j -esima sub-section.

Il coefficiente di Coriolis α , che tiene conto della distribuzione della distribuzione della velocità all'interno della sezione trasversale, viene calcolato tramite la relazione:

$$\alpha = \frac{\sum_{j=1}^{NSS} \left(\frac{K_j^3}{A_j^2} \right)}{\frac{K^3}{A^2}} \quad (9)$$

17.1.6. Sezioni interpolate

Talvolta è necessario interpolare le sezioni per un tratto in cui la definizione della geometria non sia stata sufficientemente dettagliata. Questo accade soprattutto per evitare che venga valutata ad esempio una forte perdita di energia per un allargamento e/o restringimento che nella realtà è graduale e non istantaneo come può accadere tra due sezioni non interpolate.

17.1.7. Le giunzioni

Le connessioni tra due o più rami di un canale è denominata "*giunzione*" nella quale un ramo di valle viene connesso con altri che ovviamente stanno a monte. Questa particolare situazione può essere risolta in due modi, come già accennato, ovvero mediante:

- EQUAZIONE DELL'ENERGIA TOTALE. Equilibrio delle energie totali delle correnti nelle sezioni immediatamente a monte della confluenza ed immediatamente a valle¹ di questa (metodologia da preferire nei casi in cui non si hanno particolari dissipazioni di energia tra le sezioni di monte e di valle);
- EQUAZIONE DEL MOMENTO. Equilibrio dei momenti delle quantità di moto tra le stesse sezioni di cui sopra (situazione questa da preferire quando l'angolo di incidenza del canale di monte è tale da provocare considerevoli perdite di energia).

¹ Può accadere che una delle correnti di monte risulti avere una energia inferiore alla corrente di valle.

17.1.8. Ponti ed attraversamenti in sezioni chiuse

Particolare attenzione merita la presenza di eventuali ponti e/o attraversamenti all'interno di sezioni chiuse (scatolari, circolari, ovoidali etc.).

Per ciò che riguarda la perdita di energia, questa viene suddivisa in tre componenti:

- 1) nella sezione di valle si ha perdita di energia per "brusco allargamento" della corrente fluida;
- 2) nella sezione intermedia, la quale può essere modellata in maniera da ridurre i fenomeni turbolenti;
- 3) nella sezione di monte in cui viene ad aversi una contrazione della corrente e la conseguente formazione di moti vorticosi.

Per rendere definito il problema occorre fornire 4 sezioni, due delle quali rispettivamente a monte e a valle dell'interferenza in cui siano trascurabili i fenomeni dovuti alla contrazione della corrente (Fig. 3.4, sezioni 4 e 1), le altre due immediatamente a monte e a valle del manufatto (sezioni 2 e 3), in queste è necessario imporre un'area inefficace.

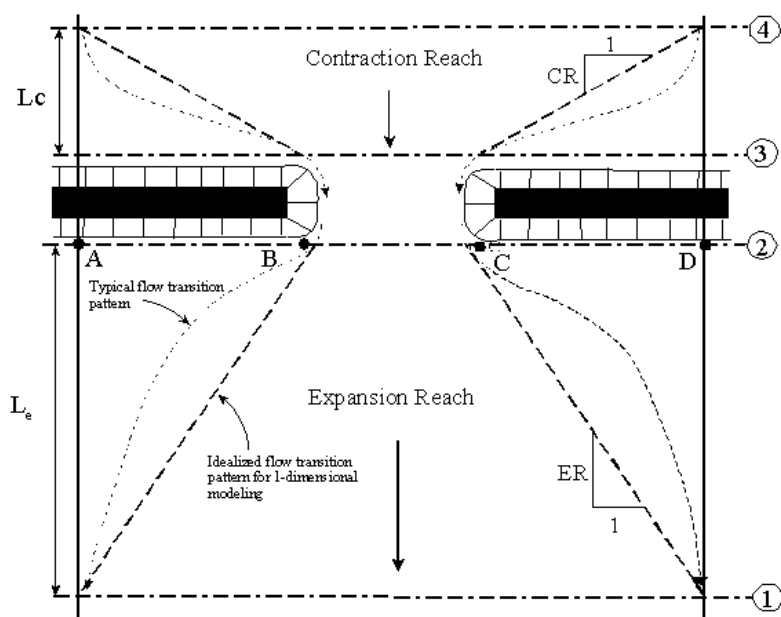


Fig. 3.4 - Geometria di un passaggio ristretto

Le metodologie utilizzate per attribuire i valori ad L_c ed L_e sono diffusamente dibattute in "Flow Transitions in Bridge Backwater Analysis" (RD-42 HEC, 1995).

HEC RAS offre diverse possibilità di risolvere il problema richiamate di volta in volta dall'utente, per i casi più frequenti nella pratica sono da preferirsi l'equazione di bilancio dell'energia, l'equazione di bilancio del momento della quantità di moto e talvolta l'equazione di Yarnell.

17.1.9. Determinazione del profilo di moto permanente

Il calcolo viene effettuato sulla base dei seguenti elementi:

- il profilo della corrente è stato valutato considerando un moto permanente per tronchi omogenei chiusi alle sezioni di interesse. Rispetto alle reali condizioni del moto, che in generale presenta variazioni di portata nel tempo, si avranno delle differenze, tuttavia, l'involuppo dei massimi livelli idrici riscontrabili in un transitorio di portata variabile non sono, in generale, superiori dei livelli idrici riscontrabili in moto permanente, ovviamente per la data portata assunta;
- la portata considerata è stata considerata costante lungo i diversi tratti omogenei degli alvei studiati, con incrementi in corrispondenza delle confluenze;
- le perdite di carico sono state valutate con la consueta espressione di Chezy e valutazione del coefficiente χ mediante la formula di Manning.

Per la stima del coefficiente di scabrezza n si è adottato un metodo utilizzato dal U.S. Soil Conservation Service. Secondo questo metodo, ad ogni elemento che influenza la scabrezza di un alveo viene associato un contributo di scabrezza, e la scabrezza complessiva viene calcolata tramite l'espressione:

$$n = (n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5) n_6 \quad (10)$$

dove n è il coefficiente di Manning complessivo, mentre gli n_i sono i contributi dovuti a vari parametri descrittivi delle condizioni dell'alveo, che sono stati desunti dalla tabella riportata di seguito:

COEFFICIENTE DI SCABREZZA
METODO INDICATO DAL U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE -

			min	max	ASSUNTO
n1	(materiale dell'alveo)	terra	0.020		0.015
		roccia tagliata	0.025		
		ghiaia fine	0.024		
		ghiaia grossolana	0.028		
n2	(grado di irregolarità dell'alveo)	trascurabile	0.000		
		modesto	0.005		0.002
		moderato	0.010		
		rilevante	0.020		
n3	(variazione della sezione)	graduale	0.000		0.000
		con alternanza occasionale	0.005		
		con alternanza frequente	0.010	0.015	
n4	(effetto relativo delle ostruzioni)	trascurabile	0.000		0.000
		modesto	0.010	0.015	
		apprezzabile	0.020	0.030	
		rilevante	0.040	0.060	
n5	(vegetazione)	bassa	0.005	0.010	0.005
		media	0.010	0.025	
		alta	0.025	0.050	
		molto alta	0.050	0.100	
n6	(tortuosità)	modesta	1.000		1.000
		apprezzabile	1.150		
		rilevante	1.300		

da cui
$$n = (n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5) \cdot n_6 = 0.022$$

Per la presenza di tratti in gran parte non rivestiti, anche a fini cautelativi, si è adottato come valore del coefficiente di Manning $\Rightarrow 0.022$.

Nei casi di tronchi critici all'interno del centro urbano, si è invece utilizzato come valore del coefficiente di Manning $\Rightarrow 0.016$.

I risultati di calcolo sono riportati in allegato, e, per ciascun tronco critico, vengono riportate anche le principali sezioni dei tratti critici presi in esame per la verifica idraulica ed il profilo del moto permanente.

I profili di moto permanente evidenziano l'andamento del fondo (*GROUND* in asse della corrente), il pelo libero (*WS Tr 50, 100, 200 e 500*), la quota critica (*CRIT Tr 50, 100, 200 e 500* cui corrispondono correnti veloci con quote del pelo libero inferiori e viceversa correnti lente con quote del pelo libero superiori), la quota dell'energia totale (*EG Tr 50, 100, 200 e 500*), la cui distanza dal

pelo libero è, come noto, pari all'altezza cinetica, la velocità (*Vel Tr 50, 100, 200 e 500*) e la superficie di flusso (*Flow Area Tr 50, 100, 200 e 500*) per ogni sezione.

18. ANALISI DEI PROCESSI EROSIVI

La parola erosione, nel suo significato più ampio, indica lo smantellamento della superficie terrestre per effetto dell'acqua (erosione idrica), del vento (deflazione) o dei ghiacciai (esarazione). Nei nostri climi l'erosione preminente è quella idrica. L'acqua è causa di erosione sia scorrendo superficialmente sul terreno, sia in particolari casi, quando, infiltrandosi nel terreno, favorisce la formazione di frane. La maggior parte delle frane è infatti causata dall'acqua che, o appesantendo per imbibizione un ammasso di terreno, o lubrificando un possibile piano di scivolamento, rompe un preesistente stato di equilibrio.

L'erosione superficiale dell'acqua può essere suddivisa in due aspetti: quando l'acqua, appena caduta, scorre non incanalata sui versanti (acque selvagge) e quando invece si raccoglie in corsi d'acqua. Sulla prima azione dell'acqua non ancora incanalata sono vari i fattori che influenzano l'erosione:

- le caratteristiche della pioggia (intensità, durata e tipo delle gocce)
- le caratteristiche del suolo
- la copertura vegetale
- la pendenza del versante
- la lunghezza del versante

L'azione meccanica della pioggia sulla superficie del terreno (effetto battente) dipende, più che dalla quantità totale, dall'intensità. Si ritiene che per intensità superiori a 10 mm/h l'azione erosiva sia considerevole: nei bacini imbriferi afferenti i tronchi critici in studio, tali intensità di precipitazione hanno valori decisamente più alti (come da paragrafi precedenti). Inoltre l'effetto erosivo della pioggia aumenta con il diametro e la velocità di caduta delle gocce d'acqua. La goccia d'acqua cadendo sul terreno, disintegra le particelle terrose, le solleva e queste quando ricadono sono facilmente trasportate dal velo d'acqua che si forma in superficie. Altre volte le particelle minute si insinuano tra grumo e grumo di terreno, costipandolo e rendendolo meno permeabile e talvolta anche asfittico. Si capisce quindi che le caratteristiche del suolo influenzano notevolmente il processo erosivo, ma sono difficilmente valutabili. La copertura vegetale esercita invece un'importante azione antierosiva in diversi modi: dissipa una parte dell'energia cinetica delle gocce

per impatto con le parti aeree delle piante; intercetta una parte, se pur modesta, della pioggia; aumenta il coefficiente di scabrezza del terreno con una conseguente diminuzione della velocità di scorrimento superficiale; migliora, nel caso di boschi non degradati, le caratteristiche idrologiche del terreno che riesce ad assorbire, e in parte a trattenere, notevoli volumi d'acqua, diminuendo così sensibilmente i fenomeni di scorrimento superficiale. L'erosione inoltre aumenta sia con la pendenza sia con la lunghezza del versante; infatti la pendenza aumenta la velocità dell'acqua e quindi la sua capacità di muovere le particelle di terreno; la lunghezza del versante invece influisce in quanto aumentando la lunghezza del versante aumenta la portata unitaria di scorrimento e quindi l'altezza della lama d'acqua, la velocità e quindi l'erosione.

L'erosione e il conseguente approfondimento dell'alveo di un torrente può essere evitato rendendo inerodibile, mediante rivestimento, il letto del torrente stesso. Questo sistema è consigliabile quando non si voglia modificare la quota del fondo dell'alveo con la costruzione di briglie come ad esempio nel caso dell'attraversamento di centri abitati. Questa sistemazione del torrente, detta a cunetta, è caratteristica non solo dei torrenti di scavo, ma anche dei torrenti di trasporto infatti si facilita il movimento del materiale (su un fondo che risulta più liscio di quello naturale) e si evitano così pericolosi accumuli. In questi casi si adotta una sezione piuttosto profonda e stretta, così che da una parte si ha una maggiore forza di trascinamento e dall'altra si occupa meno spazio in un centro abitato. Con forti velocità si adottano delle sezioni completamente rivestite con pietrame legato con malta di cemento (esperienze precedenti hanno dimostrato che la sistemazione migliore si ha quando le pietre sono annegate in un letto di calcestruzzo ancora fresco e i giunti stilati con malta di cemento, in tal modo è assicurata una maggiore resistenza del pietrame agli urti dovuti al trasporto di materiale solido).

Dalle suddette premesse e considerato che non è stato realizzato alcun intervento con conseguente modifica delle caratteristiche geomorfologiche dell'alveo originale, si evince che sono possibili esondazioni d'acqua al di fuori dello stesso alveo in zone anche sufficientemente estese e quindi con erosioni per scorrimento superficiale dell'acqua stessa (vedi elaborati grafici).

Per un maggior dettaglio sulle caratteristiche geomorfologiche e litologiche, sulle pendenze e l'uso dei suoli, ed alle criticità presenti, si rimanda alle relazioni specifiche ed agli elaborati grafici inseriti nel presente studio.

Le considerazioni risultanti, tradotte principalmente in termini di trasporto solido, hanno determinato maggiori cautele nei calcoli idrologici di cui ai precedenti paragrafi, tanto che si è considerato un coefficiente di deflusso pari all'unità, senza tener conto degli effetti della permeabilità dei suoli.

19. COMPATIBILITÀ DELLA PIANIFICAZIONE URBANISTICA CON LE AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Analogamente a quanto già definito per la pericolosità da frana, anche per ciò che concerne la pericolosità idraulica, a seguito delle verifiche puntuali effettuate e quindi di quanto più sopra descritto, è stato possibile identificare le diverse situazioni di pericolosità e rischio sul territorio dal quale dovranno essere eventualmente stralciate le previsioni non compatibili.

Attualmente quindi sulla base delle N.A. del P.A.I. non sono previsti interventi di edificazione in aree suscettibili di pericolosità idraulica elevata e molto elevata.

Le situazioni nelle quali la zonizzazione prevede interventi in aree sottoposte a pericolosità media Hi_2 dovranno essere attentamente vagliate secondo i criteri stabiliti dalle stesse N.A. che dovranno essere recepite interamente nello strumento urbanistico.

La distribuzione nel territorio delle aree Hi_2 , Hi_3 e Hi_4 è prevalentemente alle zone attorno alle principali aste fluviali; parte delle quali interessano il centro abitato di Gonnese e le sue periferie; laddove interessano attività orticole in aree periferiche, esse sono già assoggettate ad una disciplina urbanistica abbastanza restrittiva, che impedisce di fatto l'edificazione e la realizzazione di opere in contrasto con la perimetrazione delle aree a pericolosità di inondazione.

Le criticità relative all'area circostante l'abitato sono rappresentate in maniera significativa dai sub-bacini del Rio Morimenta, Rio Sibasca, Gutturu Carboni e Rio de Gravellu, con previsione di non compatibilità a seguito dell'analisi di dettaglio della rete minore che grava sull'abitato così come prescritto dalle N.A. del P.A.I.

A prescindere comunque dalle aree classificate a pericolosità, in tutte le aree del territorio si osserva che comunque qualsiasi intervento ai sensi dell'art. 23 delle N.A. del P.A.I. deve essere tale da:

- non peggiorare le condizioni di funzionalità del regime idraulico del reticolo principale e secondario e non aumentare il rischio di inondazione a valle;
- non peggiorare le condizioni di stabilità dei suoli; non compromettere la riduzione o l'eliminazione delle cause di pericolosità o di danno potenziale né la sistemazione idrologica della zona a regime;
- non aumentare il pericolo idraulico con nuovi ostacoli al normale deflusso delle acque o con riduzioni significative delle capacità di invaso per le aree interessate.

Dal Piano di Assetto Idrogeologico predisposto dalla Regione Sardegna nel 2000, si evince che le classi di pericolosità idraulica presenti nel territorio comunale di Gonnese vanno dalla Hi_1 alla

Hi₄ e riguardano esclusivamente il centro urbano ed i principali tronchi critici di Gutturu Carboni, Rio Sibasca e Rio Morimenta, oltre il tronco 2-SN1 (Sub-bacino 12). Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) elaborato dalla stessa Regione Sardegna nel 2007, studia ed individua area a pericolosità idraulica nei seguenti principali tronchi critici: Rio Sibasca, Rio Fadda, Rio Morimenta, Rio Cabriola. Lo studio parte dalle zone periferiche a sud-ovest del centro urbano per includere la laguna Sa Masa fino allo sbocco a mare del Rio Cabriola.

Negli elaborati grafici di dettaglio allegati, viene riportata sia la vincolistica attuale come sopra descritta che la sua sovrapposizione con i risultati del presente studio, evidenziando sempre le aree con livello di pericolosità superiore.

Sempre nel rispetto delle Linee Guida del P.A.I., per i vari tronchi critici, sono stati studiati i livelli di esondazione, in corrispondenza delle portate di piena con tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni, determinate attraverso le metodologie previste dal CNR-GNDICI (si rimanda ai paragrafi precedenti relativi ad analisi idrologica ed idraulica, ed agli elaborati grafici e di calcolo allegati).

Per la determinazione delle aree a rischio idraulico per i differenti tronchi critici in studio, il calcolo delle portate di piena ha interessato più sezioni idrografiche, in funzione del tracciato e del suo sviluppo planimetrico. Le principali sezioni, con l'andamento planimetrico dell'asse idrografico sono riportati negli elaborati grafici di dettaglio. Per ogni sezione si è determinato il livello idrico corrispondente alle varie portate di piena ($T_r = 50, 100, 200$ e 500 anni), evidenziando anche la massima capacità di smaltimento.

Le zone di pericolosità (H_i) sono state individuate dove il livello idrico (relativo alla portata considerata, per quel dato tempo di ritorno) supera le sponde dell'alveo e quindi la sezione trasversale risulta dall'unione della sezione arginata (se esistente) e della superficie alluvionale compresa tra il corso d'acqua e la linea isoipsa corrispondente al livello idrico per la portata di calcolo.

Su questa base sono definite come allagabili tutte le porzioni di territorio limitrofe al corso d'acqua le cui quote del piano di campagna risultino minori di quelle del pelo libero della corrente nella sezione considerata. In corrispondenza di ciascun tratto, vengono di conseguenza riportate le aree inondabili (H_i); successivamente in fase di predisposizione dello studio di variante, si procederà alla sovrapposizione di queste con le mappe degli elementi a rischio (E) per definire la mappa di rischio totale.

In particolare il Rischio idraulico è definito come il prodotto di tre fattori secondo l'espressione:

$$R_i = H_i E V$$

dove: R_i indica il rischio idraulico, quantificato secondo quattro livelli: R_1 , R_2 , R_3 , R_4

Rischio idraulico totale			Descrizione degli effetti
Classe	Intensità	Valore	
R_1	Moderato	$\leq 0,002$	Danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali
R_2	Medio	$\leq 0,005$	Sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche
R_3	Elevato	$\leq 0,01$	Sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale
R_4	Molto elevato	$\leq 0,02$	Sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione delle attività socio economiche

- E rappresenta la classificazione degli elementi a rischio, anch'essa quantificata secondo quattro livelli $E_1 - E_4$

Classi	Elementi	Peso
E_1	Aree libere da insediamenti e aree improduttive; zona boschiva; zona agricola non edificabile; demanio pubblico non edificato e/o edificabile	0.25
E_2	Aree con limitata presenza di persone; aree extraurbane, poco abitate; edifici sparsi. Zona agricola generica (con possibilità di edificazione); zona di protezione ambientale, rispetto, verde privato; Parchi, verde pubblico non edificato; infrastrutture secondarie	0.50
E_3	Nuclei urbani non densamente popolati; infrastrutture pubbliche (strade statali, provinciali e comunali strategiche, ferrovie, lifelines, oleodotti, elettrodotti, acquedotti); aree sedi di significative attività produttive (insediamenti artigianali, industriali, commerciali minori); zone per impianti tecnologici e discariche RSU o inerti, zone a cava	0.75
E_4	Centri urbani ed aree urbanizzate con continuità (densità abitativa superiore al 20% della superficie fondiaria); nuclei rurali minori di particolare pregio; zone di completamento; zone di espansione; grandi insediamenti industriali e commerciali; servizi pubblici prevalentemente con fabbricati di interesse sociale; infrastrutture pubbliche (infrastrutture viarie principali strategiche); zona discarica rifiuti speciali o tossico nocivi; zona alberghiera; zona campeggi e villaggi turistici; beni architettonici, storici e artistici	1.00

- H misura la pericolosità (natural Hazard), ossia la probabilità di superamento della portata al colmo di piena; è ripartita in quattro livelli, pari a 0.02, 0.01, 0.005, 0.002, che corrispondono ai tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.
- V misura la vulnerabilità, intesa come capacità a resistere alle sollecitazioni indotte dall'evento e quindi dal grado di perdita degli elementi a rischio E in caso di

manifestarsi del fenomeno. Ogni volta si ritenga a rischio la vita umana, ovvero per gli elementi di tipo E₄, E₃, e parte di E₂, la vulnerabilità sarà assunta pari all'unità.

Le sezioni prese in considerazione nei vari tronchi critici, soltanto in pochi casi consentono di smaltire le portate ricavate dall'analisi idrologica del bacino imbrifero di riferimento; negli altri casi possono invece dar luogo ad esondazioni, anche su superfici notevoli (Rio Morimenta, Rio San Giorgio, Rio Cabriola) e per portate conseguenti ad un evento di piena con un tempo di ritorno di 50 anni (H_{i4}).

Per un maggiore dettaglio sulle aree a pericolosità idraulica, si rimanda agli elaborati grafici allegati. In tutti i tronchi critici studiati si ha la presenza delle quattro classi di pericolosità, con la preponderanza di H_{i4}.

Id.	Bacino	Superficie bacino (mq)	Superficie area di pericolosità idraulica (mq)			
			H _{i1}	H _{i2}	H _{i3}	H _{i4}
A	Sa Masa	36.651.911	176.451,04	44.023,46	12.124,94	1.936.468,69
B	San Giorgio	32.988.093	34.205,46	6.809,33	6.706,29	185.736,72
C	Canale Mannu	2.511.801	1.298,20	1.662,98	2.529,55	51.836,60
D	Bacino mare - Canale Su Passu Malu	175.395	110,71	96,62	85,52	6.606,62
E	Bacino mare - Grifoneddu de s'Acqua	226.165	0,00	39,06	0,00	5.776,78
F	Bacino mare - tronco 20-SN	423.102	0,00	0,00	0,00	5.747,90
G	Bacino mare - Canale Golfo Leone	965.871	0,00	0,00	0,00	10.361,94
H	Bacino mare - tronco 22-SN	600.276	0,00	0,00	0,00	6.483,84
I	Bacino mare - Rio Sa Canna	2.060.655	0,00	0,00	0,00	27.501,26
L	Rio Perdaias	6.126.439	3.628,47	2.251,90	2.323,07	131.348,72
M	Rio Pescinas	1.193.925	1.847,38	1.033,45	1.404,71	27.292,18
N	Rio Sturruliu	4.715.517	2.160,32	1.920,40	3.022,38	101.298,06

La fase iniziale del presente studio, come prima detto, è stata sviluppata con l'intento di stabilire quali effetti sull'ambiente possano determinare le previsioni introdotte dal Piano Urbanistico Comunale di Gonnese.

Queste interazioni possono essere individuate, fondamentalmente, in due tipologie principali: consumo di suolo utile ed esposizione ai fenomeni franosi ed idraulicamente pericolosi.

L'espansione dell'area urbana in senso lato, comprendendo in questa anche le superfici destinate a servizi, usi industriali ed artigianali, quali i Piani per gli Insediamenti Produttivi,

determina in maniera consequenziale automatica la perdita di porzioni più o meno ampie di aree a destinazione originaria differente e, quasi sempre, ad uso agricolo generico.

Gli indirizzi del P.U.C. sono stati volti a determinare la minore occupazione delle superfici a maggiore vocazione agricola, localizzando gli sviluppi futuri, per quanto possibile, nelle immediate vicinanze dell'abitato dove le attività agricole risultano essere comunque di scarsa valenza e pressoché in abbandono, individuando, soprattutto per quanto attiene alle attività produttive, porzioni di territorio già più o meno parzialmente compromesse dal reale utilizzo attuale.

Analogamente si è proceduto con la individuazione delle nuove aree a destinazione residenziale, individuate in settori che, per la destinazione d'uso specifica, dovevano essere quanto più prossimi all'abitato e non essere in conflitto con i vincoli dettati dalle Norme di Attuazione del P.A.I. e dalle altre norme e regolamenti vigenti.

La programmazione urbanistica proposta, di fatto, presenta modeste situazioni di conflittualità con le prescrizioni dettate dal Piano di Assetto Idrogeologico ma, nella quasi totalità dei casi, si tratta di situazioni preesistenti che, nel concreto, non determinano sensibili variazioni future e quelle possibili risultano sostanzialmente ammissibili. Come già specificato, in questa casistica rientrano le aree interne e periferiche al centro urbano interessate da Gutturu Carboni, Rio Morimenta, Rio Sibasca, Rio Fadda e Rio De Gravellu, con la prevalenza di pericolosità di classe elevata Hi_4 . E' evidente che su queste superfici, stanti l'attuale classificazione attribuita dal P.A.I., sussistono gravi limitazioni d'utilizzo che ne precludono, in toto per alcune ed in parte per altre, lo sviluppo.

Stante l'inquadramento attuale gli interventi potranno essere consentiti esclusivamente nella porzione inclusa nelle classi inferiori, nel rispetto delle N.A. del PAI.

Molto importante dal punto di vista vincolistico, risulta essere l'inserimento delle zone costiere di Fontanamare e della Tonnara di Porto Paglia, per la presenza di aree con classe di pericolosità a valore massimo Hi_4 che di fatto, pur non precludendone la fruizione, non consente la realizzazione neanche di strutture temporanee, provvisorie e stagionali. In questo contesto si inserisce anche tutta l'area lagunare di Sa Masa.

Si ritiene che lo studio della variante al P.A.I. che farà seguito alla presente fase, potrà consentire una perimetrazione più precisa e dettagliata, sicuramente basata su una scala di lettura a maggiore dettaglio, per cui alcune delle ripartizioni potranno subire un parziale declassamento, mentre per altre aree appare evidente che l'attuale delimitazione risponde alla reale caratterizzazione dei luoghi.

Una eventuale riclassificazione di queste ultime superfici, tenendo conto dell'impossibilità di delocalizzazione degli interventi previsti, potrà aver luogo solo a seguito della realizzazione di idonee opere di mitigazione e di compensazione del rischio, solo successivamente alla cui esecuzione potrà valutarsi la ipotesi di un eventuale declassamento.

Allo stato attuale, stante la perimetrazione vigente (PAI e PSFF), la definizione delle zone urbanistiche comporta che alcuni degli interventi potenziali localizzabili al loro interno dovranno considerarsi sospesi e direttamente sottoposti alla normativa definita dalle Norme di Attuazione del Piano di Assetto Idrogeologico della Sardegna.

20. PIANO DI MANUTENZIONE E MONITORAGGIO

Le criticità idrauliche interessano parte dell'abitato; si osserva che sarebbe opportuno prevedere che la progettazione di opere in aree prossimi ai corsi d'acqua sia sempre accompagnata da una apposita relazione idrologica ed idraulica atta a verificare le condizioni locali di deflusso delle acque.

Ciò al fine di verificare che comunque la realizzazione di opere anche in aree non ricadenti sulle fasce di pericolosità ma direttamente connesse ad esse, non interferiscano con la rete di deflusso naturale delle acque che vengono recapitate nel tributario principale.

E' inoltre auspicabile la periodica manutenzione della rete fluviale al fine di garantire il deflusso; la pulizia, manutenzione ordinaria e straordinaria delle griglie di raccolta delle acque in tutti i settori del territorio.

Nelle nuove aree di edificazione (zone C) sarebbe auspicabile limitare quanto più possibile l'impermeabilizzazione dei substrati e comunque dovranno essere accuratamente verificate le intercettazioni e re-immissioni delle acque bianche nella rete idrografica naturale.

21. CONSIDERAZIONI FINALI

A seguito dell'incarico affidato ai sottoscritti dal Comune di Gonnese, è stato realizzato il presente studio di compatibilità geologica, geotecnica ed idraulica finalizzato all'adeguamento del P.U.C. al P.P.R ed al P.A.I.

Questo studio ha permesso di individuare una successione stratigrafica costituita da litologie appartenenti a tutte le ere geologiche.

I principali processi geomorfologici sono riconducibili al ruscellamento diffuso ed incanalato e a processi gravitativi di instabilità delle aree metamorfiche, Carbonatiche e vulcaniche.

Dal punto di vista idrologico è stata effettuata una accurata valutazione dei deflussi suddividendoli per bacino montano.

E' stata effettuata sia l'analisi idrologica che quella idraulica con le apposite verifiche di sezione riportate in allegato.

Per ciò che concerne la compatibilità della pianificazione urbanistica si rileva che è stato eseguito uno studio sull'intero territorio pervenendo ad una mappatura delle aree instabili per ciò che concerne le frane e delle aree inondabili in corrispondenza delle situazioni di criticità (tronchi critici) individuati in prossimità o del centro urbano o della viabilità.

Le aree così individuate sono state divise secondo i diversi criteri di pericolosità indicati nelle linee guida del P.A.I. e su tali basi si è giunti ad una rilocalizzazione delle previsioni di piano non compatibili.

Lo schema di pianificazione esclude qualsiasi possibilità di modifica dei suoli dalle aree a pericolosità elevata e molto elevata.

In conclusione si rileva la piena compatibilità delle nuove previsioni urbanistiche inserite nel P.U.C. di Gonnese a seguito dello studio dei livelli di pericolosità da frana e di inondazione eseguito sul territorio.

Si rimanda alle norme di attuazione del P.U.C. il recepimento delle prescrizioni delle N.d.A. del P.A.I. e di quelle derivanti dalle limitazioni dell'uso del territorio derivate dal presente studio di compatibilità.

Gonnese, li 30/11/2012

I professionisti