



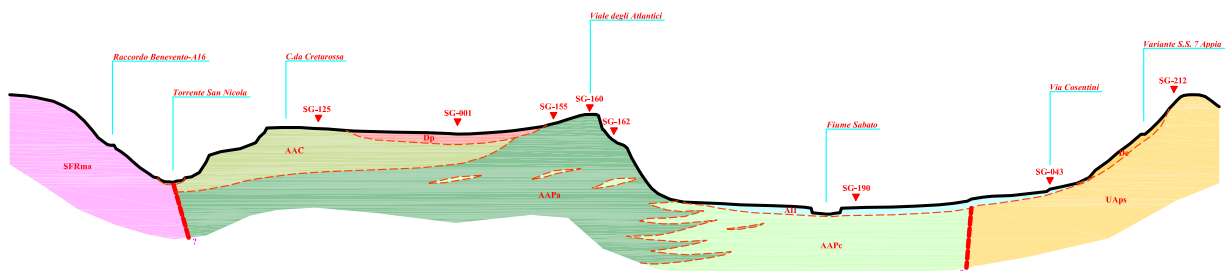
Comune di Benevento

Settore Ambiente e Mobilità

Servizio Geologico e Difesa Suolo

Studio Geologico e Geosismico del Territorio Comunale

(Legge Regionale n° 9 del 07 Gennaio 1983)



DESCRIZIONE TAVOLA:

RELAZIONE GEOLOGICO - TECNICA

Tavola n°

G00

Elaborazione

dott. geol. Massimo Romito

Scala :

Data : Febbraio 2006

Rev. : 01

VISTI ED APPROVAZIONI

COLLABORAZIONE :

PRUSST "CALIDONE" - Ufficio comprensoriale di Progettazione - Coordinamento Geologia e Ambiente -

Documento 18 di attuazione del PRUSST "Calidone" - Valutazione delle politiche occupazionali - Programmazione II e III annualità - Convenzione per le attività di assistenza tecnica del 25.07.2005: Pianificazione innovativa orientata all'internalizzazione della componente occupazionale.

geol. Vincenzo Fuschini, geol. Pompeo De Girolamo, geol. Francesco Resce
arch. Marina Bianco, arch. Giovanni Coppola, arch. Pasquale Fiore



P.R.U.S.S.T.



Indice

1. Premessa	Pag. 2
2. Il Territorio: Caratteristiche Meteorologiche	Pag. 7
3. Il Territorio: Caratteristiche Morfologiche	Pag. 17
4. Il Territorio: Caratteristiche Geologiche e Strutturali	Pag. 21
5. Il Territorio: Caratteristiche Idrogeologiche	Pag. 32
6. Il Territorio: Caratteristiche Geotecniche dei Sedimenti	Pag. 40
7. Il Territorio: Caratteristiche di Sismicità	Pag. 53
7.1 Sismicità Storica	Pag. 53
7.2 Sismicità del Territorio	Pag. 73
8. Lo Studio: Note alla Cartografia Tematica	Pag. 89
8.1 Carta Geolitologica [G01]	Pag. 89
8.2 Carta Clivometrica [G03]	Pag. 90
8.3 Carta della Pericolosità Geomorfologica ed Idraulica [G04]	Pag. 92
8.4 Carta Idrogeologica [G05]	Pag. 95
8.5 Carta della Permeabilità [G06]	Pag. 96
8.6 Ubicazione Indagini Geognostiche, Geotecniche e Geofisiche [G07]	Pag. 97
8.7 Esiti Indagini Geognostiche, Geofisiche e Geotecniche [G08]	Pag. 99
8.8 Carta della Pericolosità Sismica [G09]	Pag. 100
8.9 Classificazione del Sottosuolo ai sensi dell'OPCM 3274 [G10]	Pag. 106
9. Conclusioni	Pag. 108



1. Premessa

La presente *Relazione Geologico Tecnica* è parte integrante dello *Studio Geologico e Geosismico del Territorio Comunale*, esperito ai sensi della Legge Regionale n° 9 del 07 gennaio 1983 e conforme alla vigente normativa in materia sismica, con particolare riferimento alla O.P.C.M. n° 3274 del 20.03.2003 recante “*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*”.

Ai fini dell’elaborazione del **Piano Urbanistico Comunale** infatti, in considerazione che l’esistente studio geologico allegato al **Piano Regolatore Generale** vigente risale, come prima stesura, all’anno 1981 e come integrazione all’anno 1984, e che nel corso di questi ultimi venti anni sono state esperite numerose indagini – sia territoriali che puntuali – le quali hanno consentito di approfondire notevolmente la conoscenza geologica del territorio comunale, nonché in relazione alla promulgazione di nuova normativa tecnica sia nazionale che regionale che determina sostanziali modifiche sia alle tecniche di approccio sistemico alle problematiche di natura

strettamente geologica e sismica (*Ordinanza Presidenza del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20.03.2003 e successive*) che alla pura e semplice classificazione del territorio comunale (*Delibera G.R. Campania n° 5447 del 07.11.2002, la quale modifica la classificazione del comune da sismico di 2^a Categoria a sismico di 1^a Categoria*), si è giunti alla determinazione di rielaborare completamente detto studio geologico al fine di adeguare lo stesso sia alle nuove conoscenze che ai recenti dettami normativi.

Si è proceduto, quindi, ad operare detta rielaborazione seguendo le indicazioni della *Legge Regionale n° 09/83* la quale indica sommariamente gli elaborati minimi di natura geologica da produrre a corredo di ogni singolo strumento urbanistico, la natura ed il tipo di indagini puntuali da esperire, nonché i fattori di scala da utilizzare nella riproduzione cartacea degli elaborati.

Lo studio, in definitiva, è basato essenzialmente sulla produzione di una serie di carte tematiche le quali, in modo sinottico, evidenziano – per tematismi – le principali caratteristiche geolitologico-strutturali, idrogeologiche, geomorfologiche e di risposta sismica del territorio sotteso, al fine di consentire all’urbanista di poter effettuare le scelte di pianificazione territoriale tenendo in debito conto la natura e le caratteristiche del suolo e del sottosuolo, nonché di prevedere le eventuali problematiche tecniche da affrontare in fase di progettazione e realizzazione delle opere.

In tale ottica, sono state predisposte una serie di carte tematiche che rispettano i dettami della citata *Legge Regionale n° 09/83* (*Carta Geolitologica, Carta della Pericolosità Geomorfologica ed Idraulica, Carta Idrogeologica, Carta della Pericolosità Sismica*) ed una serie di carte integrative che si è ritenuto necessario predisporre ai fini di una più completa e dettagliata caratterizzazione del territorio (*Sezioni Geolitologiche, Carta Clivometrica, Carta della Permeabilità*); competano lo studio la presente *Relazione Geologico-Tecnica* – la quale illustra nel dettaglio quanto sinotticamente

riportato nella cartografia tematica – ed una planimetria riportante l'ubicazione delle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche esperite in sito, le cui risultanze sono integralmente riportate in specifici fascicoli allegati allo studio.

In merito a quest'ultimo punto, va precisato che, oltre al necessario rilevamento geologico di campagna e alla successiva analisi aerofotogeologica del territorio comunale, ai fini dello studio sono state prese in considerazione una serie di indagini in sito - costituite da sondaggi geognostici spinti a varie profondità, prove geotecniche di laboratorio su campionatura indisturbata e prove sismiche in foro - a vario titolo eseguite nel corso degli ultimi anni sul territorio comunale e generalmente finalizzate alla realizzazione di opere pubbliche, nonché una campagna di indagini specificamente eseguita nell'anno 2004 per l'elaborazione dello studio geologico finalizzato al P.U.C., costituita complessivamente da n° 6 sondaggi profondi (50,00 - 92,00 m dal p.c.) ubicati in area urbana, attrezzati per l'esecuzione di prove sismiche tipo "Down-Hole" fino alla profondità di 50,00 dal piano di campagna e corredata da prove di laboratorio geotecnico eseguito su campioni prelevati in forma indisturbata.

Nel complesso, fra indagini pregresse ed indagini specificamente eseguite e finalizzate allo studio in atto, la ricostruzione litostratigrafia del sottosuolo delle aree urbane e periurbane è stata eseguita con l'ausilio di 257 sondaggi, seppure caratterizzati da diverso grado di dettaglio e da variabile grado di affidabilità.

Tale consistente data-base di conoscenze ha consentito di ricostruire con sufficiente grado di approssimazione la struttura geolitologica del sottosuolo beneventano - notoriamente complessa e caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali, eluvio-colluviali, piroclastici residuali ed antropici aventi variabile potenza ed estensione areale - nonché di individuare

i principali rapporti geostrutturali tra le formazioni affioranti e/o subaffioranti.

La cartografia tematica di cui innanzi - restituita su base aerofotogrammetrica aggiornata all'anno 2000 - è stata completamente elaborata in modo informatico: ogni carta tematica viene restituita su singola tavola d'insieme in scala 1:20.000 e, al fine di rispettare i vincoli imposti dalla Legge Regionale n° 09/83 almeno per la cartografia tematica principale, in n° 27 tavole alla scala 1:4.000 che coprono l'intero territorio comunale seguendo la suddivisione della citata base cartografia aerofotogrammetria.

E' opportuno, ancora, segnalare che per la ricostruzione dei rapporti litostratigrafici e geostrutturali di cui alla *Carta Geolitologica* ed alle relative *Sezioni Geolitologiche*, nonché per la caratterizzazione della risposta sismica del sottosuolo nell'area urbana si è operato in stretto contatto con i docenti ed i ricercatori dell'*Università degli Studi di Napoli "Federico II"* e dell'*Università degli Studi del Sannio*, strutture entrambe coinvolte nel "*Progetto Traiano*" programma di ricerca centrato sulla città di Benevento e finalizzato alla stima ed alla riduzione della vulnerabilità dell'ambiente costruito.

La presente Relazione, quindi, riporta sinteticamente le principali caratteristiche morfologiche, geolitologiche e strutturali, idrogeologiche e di risposta sismica del territorio comunale, nonché una serie di note esplicative alla cartografia tematica realizzata; essa conta complessivamente n° 108 pagine ed è corredata da n° 10 tabelle, n° 04 grafici e n° 13 figure.

Lo studio è complessivamente costituito dagli elaborati di cui alla successiva [Tabella 1](#).

<i>Elaborato</i>	<i>Titolo</i>	<i>Scala</i>
G00	Relazione Geologico Tecnica	
G01	Carta Geolitologica	1 : 20.000
G01.01 ÷ G01.27	Carta Geolitologica	1 : 4.000
G02.01	Sezioni Geolitologiche A - A' / B - B'	Varie
G02.02	Sezioni Geolitologiche C - C' / D - D'	Varie
G03	Carta Clivometrica	1 : 20.000
G03.01 ÷ G03.27	Carta Clivometrica	1 : 4.000
G04	Carta della Pericolosità Geomorfológica ed Idraulica	1 : 20.000
G04.01 ÷ G04.27	Carta della Pericolosità Geomorfológica ed Idraulica	1 : 4.000
G05	Carta Idrogeologica	1 : 20.000
G05.01 ÷ G05.27	Carta Idrogeologica	1 : 4.000
G06	Carta della Permeabilità	1 : 20.000
G07.01 - G07.02	Ubicazione Indagini Geognostiche, Geotecniche e Geofisiche	1 : 10.000
G08.01	Esiti Indagini Geognostiche	
G08.02	Esiti Indagini Geofisiche	
G08.03 - G08.04	Esiti Indagini Geotecniche	
G09	Carta della Pericolosità Sismica	1 : 20.000
G09.01 ÷ G09.27	Carta della Pericolosità Sismica	1 : 4.000
G10	Classificazione del Sottosuolo ai sensi dell'O.P.C.M. 3274	1 : 20.000

Tabella 1 – Elaborati costituenti lo Studio

2. Il Territorio: Caratteristiche Metoclimatiche

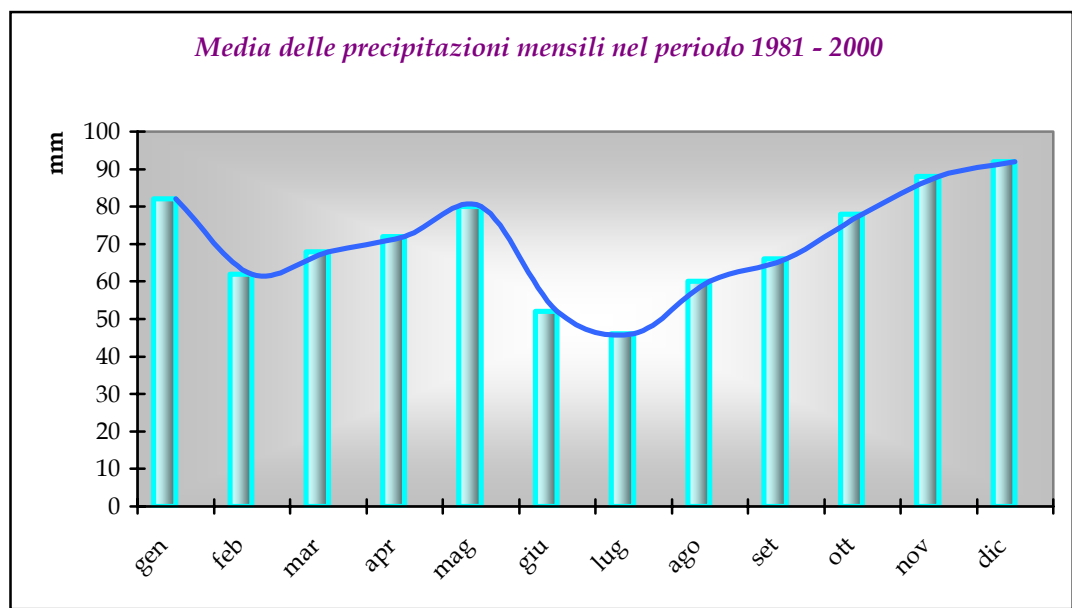
Nel presente paragrafo verranno sommariamente analizzati i dati meteo climatici relativi all'ambito comunale sulla scorta di uno studio climatologico recentemente realizzato a cura del P.R.U.S.S.T. "Calidone".

L'area beneventana è inserita in settore orograficamente costituito da rilievi collinari con quote variabili, in media, nell'intorno dei 600 ÷ 700 m s.l.m., solcati da una serie di valli alluvionali tra le quali spiccano quelle dei due principali corsi d'acqua, il *Fiume Sabato* ed il *Fiume Calore*, il cui talweg si ritrova - in ambito comunale - a quote - decrescenti da sud est verso nord - variabili tra 130.00 m s.l.m. e 90.00 m s.l.m. circa.

Le aree collinari sono circondate da rilievi costituiti dai massicci carbonatici del *Taburno - Camposauro* e del *Matese* verso ovest e nord ovest, nonché dal gruppo dell'*Avella - Partenio* verso sud e sud ovest, con quote che superano i 1.000 m s.l.m.; tale schematica suddivisione di tipo orografico, pur risultando poco determinate ai fini dei meccanismi a grande scala che influiscono sulle condizioni meteorologiche, sicuramente determinano meccanismi di circolazione locale delle masse d'aria che influiscono sulla temperatura, nonché su tipologia, quantità e distribuzione delle precipitazioni.

Sulla scorta dei dati pluviometrici resi disponibili dall'*Ufficio Centrale di Ecologia Agraria del Ministero per le Politiche Agricole e Forestali*, relativi ai rilevamenti eseguiti dalla rete del *CNMCA (Centro Nazionale di Meteorologia e Climatologia Aeronautica)* e del *CAR (Centro Agrometeorologico Regionale)* nel ventennio 1981 - 2000, utilizzati a supporto dello studio innanzi citato, e sintetizzati nella successiva *Tabella 2* e nel relativo *Grafico 1* si evidenzia per il meteo-distretto beneventano una piovosità media annua pari ad 846 mm per complessivi 109 giorni piovosi.

<i>Media delle precipitazioni mensili in mm nel periodo 1981 -2000</i>											
GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
82.0	62.0	68.0	72.0	80.0	52.0	46.0	60.0	66.0	78.0	88.0	92.0
											<i>Media annuale = 846.0 mm</i>

Tabella 2 – Precipitazioni medie mensili periodo 1981 – 2000 (Fonte PRUSST Calidone)*Grafico 1 (Fonte PRUSST Calidone)*

Dai dati innanzi esposti si evince chiaramente che i periodi maggiormente piovosi sono concentrati nei mesi di novembre, dicembre e gennaio, con un totale di 262.0 mm di pioggia, pari al 31.0 % del totale annuo, mentre il trimestre siccitoso è concentrato nel periodo estivo, con soli 158.0 mm si pioggia, pari al 18.7 % delle precipitazioni totali; è anche interessante notare il picco di precipitazioni che si registra nei mesi di aprile e maggio.

Più interessante ancora è notare come, già nel corso del ventennio preso in esame, si registri una tendenza alla diminuzione della piovosità

annua, tendenza che risulta ancora più evidente dai dati pluviometrici relativi al quinquennio 2001 – 2005 , rimessi nella successiva *Tabella 3* e relativo *Grafico 2*, nel quale viene anche calcolato il valore medio delle precipitazioni mensili relative al periodo.

<i>Precipitazioni mensili in mm nel periodo 2001 -2005</i>					
<i>Mese/ Anno</i>	2001	2002	2003	2004	2005
<i>Gennaio</i>	86.0	40.0	154.0	61.0	75.0
<i>Febbraio</i>	14.0	25.0	57.0	46.0	96.0
<i>Marzo</i>	21.0	19.0	23.0	69.0	107.0
<i>Aprile</i>	46.0	9.0	46.0	97.0	42.0
<i>Maggio</i>	58.0	59.0	11.0	76.0	12.0
<i>Giugno</i>	29.0	24.0	23.0	64.0	22.0
<i>Luglio</i>	8.0	34.0	55.0	8.0	8.0
<i>Agosto</i>	16.0	48.0	4.0	16.0	36.0
<i>Settembre</i>	25.0	111.0	13.0	8.0	122.0
<i>Ottobre</i>	15.0	49.0	109.0	69.0	65.0
<i>Novembre</i>	93.0	36.0	44.0	111.0	150.0
<i>Dicembre</i>	81.0	73.0	86.0	182.0	133.0
TOTALE ANNO	492.0	527.0	625.0	807.0	868.0

Tabella 3 – Precipitazioni mensili periodo 2001 – 2005 (Fonte PRUSST Calidone)

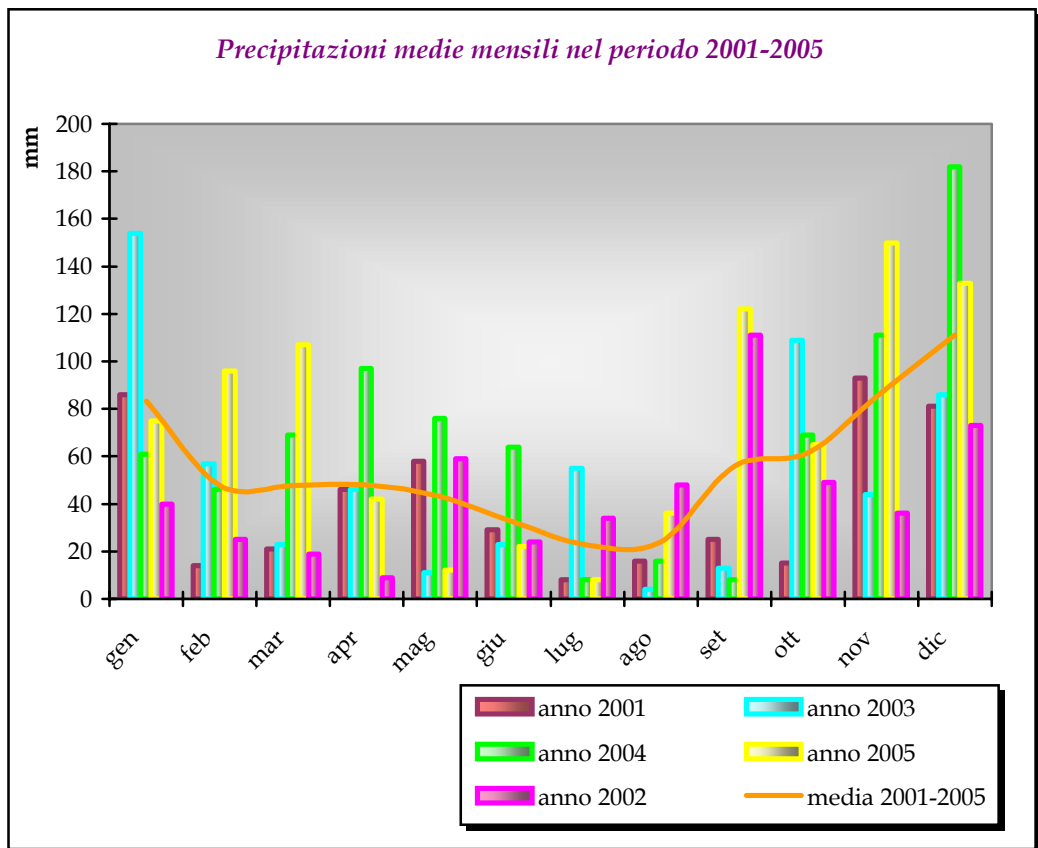
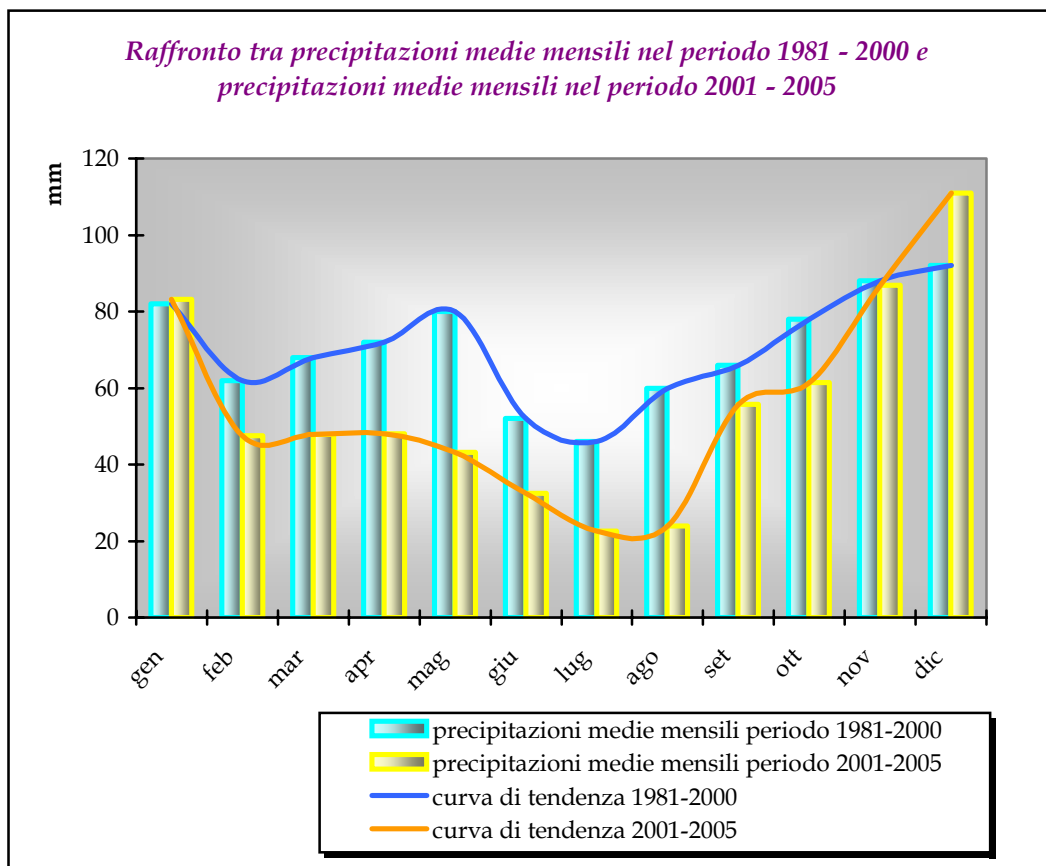


Grafico 2 (Fonte PRUSST Calidone)

I dati di cui innanzi evidenziano, in primo luogo, una complessiva e sostanziale diminuzione della piovosità media annua che, in base ai dati dell'ultimo quinquennio, si attesta su 664,0 mm, con una diminuzione complessiva rispetto al precedente ventennio pari al 23,0 %; anche il rapporto tra le giornate piovose annuali, pari a 109 per il periodo 1981 - 2000 e pari a 101 per il successive quinquennio, conferma tale tendenza.

Analizzando ancora nel dettaglio i dati relativi agli ultimi anni, si evidenzia un periodo particolarmente siccitoso nell'anno 2001, con soli 492 mm di pioggia; negli anni successivi si osserva un graduale aumento della piovosità fino all'anno 2005, laddove si riscontrano valori medi coerenti con quelli relativi al ventennio 1981 - 2000.

Il successivo [Grafico 3](#) mette in relazione i valori medi di piovosità mensile relativi al ventennio 1981 - 2000 con quelli del quinquennio 2001 - 2005 e relative curve di tendenza; si evidenzia che il gap di valori risulta particolarmente ampio nei periodi primaverile ed estivo, meno accentuato nel periodo autunnale (riduzione pari al 14 % circa) e praticamente si annulla nel periodo invernale, laddove i valori tra i due periodi risultano praticamente analoghi, con addirittura un lieve incremento dei valori di piovosità afferenti l'ultimo periodo rispetto al precedente ventennio; si noti anche la scomparsa del picco di precipitazioni nei mesi di aprile e maggio.



[Grafico 3](#) (Fonte PRUSST Calidone)

Va ancora osservato che, il linea generale ed in particolare in alcuni periodi dell'anno, si registra una distribuzione della piovosità sostanzialmente diversa rispetto ai dati del precedente ventennio: se da un lato la media delle precipitazioni complessive annua risulta inferiore rispetto al ventennio precedente, nell'ultimo periodo di osserva - così come evidente nel [Grafico 2](#) - la presenza di episodi particolarmente intensi e concentrati in periodi ristretti, nell'ambito dei quali si rilevano aumenti, anche consistenti, rispetto alla media.

Con riferimento alla [Tabella 3](#), i casi più evidenti riguardano i mesi di settembre 2002 (111.0 mm di pioggia con +68 % rispetto alla media), gennaio 2003 (154.0 mm con +88 %), ottobre 2003 (109.0 mm con +40 %), dicembre 2004 (182.0 mm con +98 %), marzo 2005 (107.0 mm con +57 %), settembre 2005 (122.0 mm con +85 %), novembre 2005 (150.0 mm con +70 %); tutto ciò in anni nei quali comunque la piovosità media è risultata sensibilmente e costantemente inferiore alla media.

Quanto innanzi trova ulteriore riscontro nei dati relativi alla giornate piovose con precipitazioni superiori ai 10 mm, pari in media a 10 ÷ 12 nel ventennio 1981 - 2000 ed a 20 negli ultimi anni.

In conclusione, quindi, premettendo che il breve periodo preso in considerazione e la distribuzione non sempre omogenea dei punti di misura sul territorio non consente di trarre conclusioni certe ed attendibili, si può affermare che anche per il territorio sannita, così come in tutto il bacino del Mediterraneo, si osserva una consistente diminuzione nella distribuzione delle precipitazioni, le quali probabilmente assumono anche caratteristiche di ciclicità; tale circostanza è da mettere probabilmente in relazione con un maggior stazionamento sull'area mediterranea dell'*Anticiclone Subtropicale Africano* e con le mutate modalità di spostamento dell'*Anticiclone delle Azzorre*.

Oltre a quanto innanzi, infine, in base ai dati disponibili, si osserva una sorta di "*tropicalizzazione*" del clima, con suddivisione dell'anno

meteorologico di due parti, una particolarmente secca (primavera ed estate) ed una particolarmente umida (autunno ed inverno): nell'ultimo quinquennio, infatti, le precipitazioni del primo semestre (218.0 mm) risultano sensibilmente inferiori, circa la metà, rispetto a quelle del secondo semestre (446.0 mm), circostanza quest'ultima più simile ad un clima di tipo "monsonico" che non mediterraneo, laddove l'andamento delle precipitazioni stagionali mostra modificazioni meno marcate (cfr. *Tabella 2*).

Anche lo stesso regime pluviometrico asseconda tale tendenza, in quanto si rileva una diminuzione nell'ampiezza dei periodi piovosi, che nell'ultimo periodo risultano contratti, a fronte di un aumento nell'intensità di pioggia: in definitiva diminuiscono le piogge lente e costanti, che interessano il territorio per più giorni successivi, a fronte di precipitazioni brevi ed a carattere di rovescio, spesso anche associate a manifestazioni atmosferiche particolarmente violente (forti colpi di vento, depressioni improvvise con repentini cali di temperatura, etc...).

L'impressione che ci si avvia verso la tropicalizzazione del bacino mediterraneo, è anche confermato dall'andamento medio delle temperature, le quali evidenziano una costante tendenza al rialzo, in particolare negli ultimi anni.

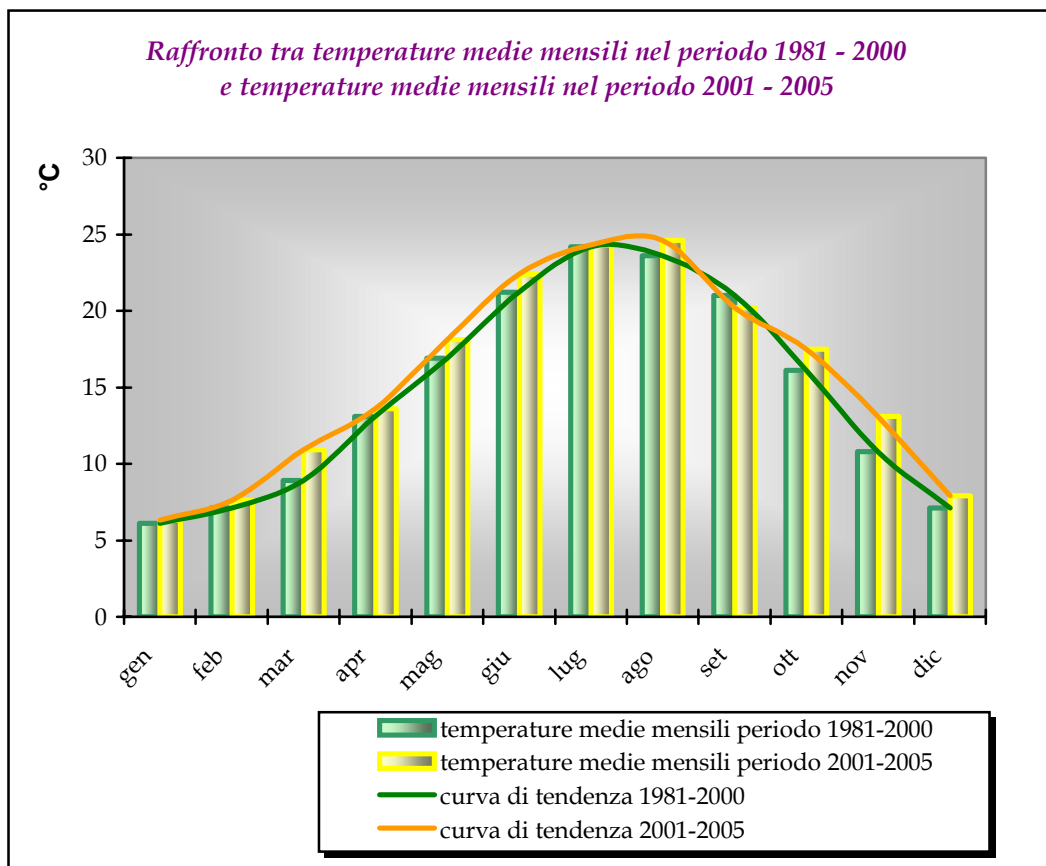
Con riferimento ai dati disponibili per l'area beneventana, estratti, anche in tal caso, dallo studio recentemente eseguito a cura del *P.R.U.S.S.T. Calidone*, si rileva che dati relativi al profilo termico nel ventennio 1981 - 2000 evidenziavano un aumento complessivo della temperatura rispetto al precedente ventennio valutato in circa $0,6 \div 0,7$ °C per l'intero periodo; nell'ultimo quinquennio, di contro, si registra un aumento di temperatura media valutabile in circa 1,2 °C.

A tal uopo nella successiva *Tabella 4* vengono sintetizzati i valori mensili di temperatura minimi, massimi e medi rilevati sia nel ventennio 1981 - 2000 che nel quinquennio 2001 - 2005.

<i>Temperature mensili minime, massime e medie nel ventennio 1981 - 2000 e nel quinquennio 2001 - 2005 in °C</i>													
<i>Periodo</i>		<i>G e n</i>	<i>F e b</i>	<i>M a r</i>	<i>A p r</i>	<i>M a g</i>	<i>G i u</i>	<i>L u g</i>	<i>A g o</i>	<i>S e t</i>	<i>O t t</i>	<i>N o v</i>	<i>D i c</i>
<i>1981 - 2000</i>	<i>Min</i>	2.3	2.8	4.1	8.2	11.5	15.7	18.8	18.4	15.6	11.2	6.5	3.2
	<i>Max</i>	9.8	11.3	13.7	18.0	22.2	26.7	29.7	28.8	26.4	21.0	15.1	11.0
	<i>Med</i>	6.1	7.1	8.9	13.1	16.9	21.2	24.2	23.6	21.0	16.1	10.8	7.1
<i>2001 - 2005</i>	<i>Min</i>	3.1	3.5	5.6	8.6	12.1	15.7	16.7	16.7	14.2	11.8	8.4	4.5
	<i>Max</i>	9.6	11.5	15.0	18.8	23.4	29.3	31.9	32.6	26.2	23.3	17.9	11.4
	<i>Med</i>	6.3	7.6	10.9	13.6	18.1	22.4	24.3	24.6	20.2	17.5	13.1	7.9
<i>Differenza di temperatura mensile media tra ventennio 1981 - 2000 e quinquennio 2001 - 2005 in °C</i>													
<i>Δ positivo</i>		0.2	0.5	2.0	0.5	1.2	1.2	0.1	1.0		1.4	2.3	0.8
<i>Δ negativo</i>										0.8			
<i>Temperature annue nel ventennio 1981 - 2000</i>													
<i>Periodo 1981 - 2000</i>		<i>Temperatura minima annua</i>									<i>9.1</i>		
		<i>Temperatura massima annua</i>									<i>19.4</i>		
		<i>Temperatura media annua</i>									<i>14.3</i>		
<i>Temperature annue nel quinquennio 2001 - 2005 in °C</i>													
<i>Periodo 2001 - 2005</i>		<i>Temperatura minima annua</i>									<i>9.7</i>		
		<i>Temperatura massima annua</i>									<i>20.8</i>		
		<i>Temperatura media annua</i>									<i>15.3</i>		

Tabella 4 - Temperature minime, massime e medie (Fonte PRUSST Calidone)

La citata [Tabella 4](#) riporta, inoltre, le differenze di temperatura mensile tra le medie del ventennio 1981 – 2000 e le medie del quinquennio 2001 – 2005, riportate anche nel successivo [Grafico 4](#), nonché le temperature minima, massima e media annua calcolata sui due citati periodi.



[Grafico 4](#) (Fonte PRUSST Calidone)

Dai dati riportati si evidenzia una differenza (Δ) positiva per tutti i mesi dell'anno, più accentuata nei periodi primaverile (marzo + 2.0 °C, maggio e giugno + 1.2 °C) ed autunnale (ottobre + 1.4 °C, novembre + 2.3 °C), meno sensibile nei restanti periodi, ulteriore sintomo del già evidenziata

modificazione climatica verso un anno atmosferico suddiviso grossolanamente in due sole stagioni principali, di cui una secca ed una umida; l'unica differenza negativa si registra per il mese di settembre, laddove nel quinquennio 2001 - 2005 le temperature medie registrate risultano inferiori alle medie del ventennio 1981 - 2000 per 0,8 °C.

Anche il raffronto tra le temperature medie registrate nei due periodi e rapportate all'anno evidenziano tale tendenza al rialzo, più contenuto verso il basso, con aumento di 0,6 °C nelle temperature minime e più accentuato verso l'alto (+ 1,4 °C nelle temperature massime); complessivamente la temperatura media annuale varia da 14,3 °C calcolata sul ventennio 1981 - 2000 a 15,3 °C per il quinquennio 2001 - 2005, con aumento netto di 1,0 °C.

Un breve cenno, infine, al regime anemometrico dell'area beneventana, caratterizzato dalla presenza, in frequenza maggiore, di venti provenienti dai quadranti occidentali e meridionali, con direzioni dominanti da SSW e ENE durante il semestre freddo e da WSW e SSW durante il semestre caldo.

L'assolazione media annua, espressa in *ore di sole normale all'anno* ($h*n$), rappresentante l'energia solare che una località intercetterebbe se il sole rimanesse immobile per un determinato tempo sulla normale della località stessa, calcolata attraverso specifici abachi in relazione alla latitudine, variabile in funzione dell'acclività e dell'esposizione dei versanti, risulta variabile per l'area beneventana tra 2.100 hn e 2.300 hn ; sulla scorta di tali valori, pertanto, il territorio comunale può essere classificato come "*mediamente assolato*".

3. Il Territorio: Caratteristiche Morfologiche

Dal punto di vista morfologico, la città di Benevento è ubicata in area appenninica, alla confluenza dei Fiumi *Sabato* e *Calore*; i due corsi d'acqua possono essere indubbiamente considerati come gli agenti che maggiormente hanno prodotto l'evoluzione ed il modellamento dell'attuale assetto morfologico.

Tale assetto, in particolare nelle aree del centro storico, evidenzia la presenza di superfici terrazzate che si raccordano dolcemente con due ampie piane alluvionali attraversate dai due corsi d'acqua i quali, in virtù dell'alternarsi di fasi deposizionali ed erosive, hanno determinato l'accumulo di consistenti volumi di sedimenti alluvionali e la formazione di numerosi terrazzi fluviali.

Il centro storico di Benevento sorge su una stretta ed allungata dorsale con orientazione WNW-ESE costituita da più ordini di terrazzi determinati dal progressivo approfondimento del *Fiume Calore* sul fronte nord-orientale e del *Fiume Sabato* sul fronte sud-occidentale.

Le valli dei due corsi d'acqua, caratterizzate da fondo piatto, mettono in risalto la posizione strategica della collina di Benevento: il centro storico, infatti, è edificato lungo lo spartiacque di tale rilievo che, a WNW, in *C.da Cellarulo*, parte da quota 107.00 m s.l.m. circa risalendo fino a circa 250.00 m s.l.m. in *Loc. Pacevecchia*.

La verifica delle quote rilevabili lungo lo spartiacque permette di distinguere più ordini di terrazzi alluvionali: la loro età diminuisce da monte verso valle e mentre per i terrazzi più antichi gli elementi morfologici risultano sempre meno evidenti e sostanzialmente mascherati dai massicci interventi antropici, l'ultimo ed il più recente risulta ancora ben visibile e

corrisponde al terrazzo di piena attuale, con quote di circa 7.00 ÷ 8.00 m superiori rispetto alla golena del Fiume Calore.

L'ambito territoriale Benevento è caratterizzato da morfologia tipicamente collinare, dove le caratteristiche clivometriche dei versanti sono strettamente correlate con l'erodibilità dei sedimenti che costituiscono il rilievo stesso.

Nell'area beneventana le più rilevanti forme morfologiche del paesaggio - oltre a quelle legate alla dinamica fluviale che, come già evidenziato, sono rappresentate dalle superfici terrazzate - sono le "superfici relitte", intese come residui e/o indizi - evidenti su di un'area sufficientemente estesa - di una superficie a bassa pendenza, più o meno incisa da reticolo idrografico e che non risulta in equilibrio con l'assetto geomorfologico attuale; tale superficie può essere legata sia a processi erosivi o deposizionali che ad eventi tettonici.

Le analisi delle curve di livello che rappresentano le forme del rilievo permettono di evidenziare che l'area beneventana è caratterizzata da una morfologia piuttosto articolata nella fascia a margine dei rilievi carbonatici che costituiscono i complessi del *Terminio - Partenio* e del *Taburno - Camposauro*, e da una morfologia più regolare in una vasta area che si sviluppa a SE, ad E ed a N dell'abitato di Benevento, caratterizzata, peraltro, dalla presenza, in affioramento, di unità litologiche caratterizzate da grado di erodibilità molto simile.

In tale zona a morfologia più regolare è possibile distinguere una sequenza terrazzata costituita da tre superfici relitte che si susseguono in direzione antiappenninica, con quote crescenti verso NE.

La superficie relitta più bassa, meglio conservata e che interessa direttamente l'area sottesa dal piano si sviluppa tra gli abitati di *San Giorgio del Sannio* e *Venticano*, con quote che partono da circa 370 m s.l.m. e tendono a

diminuire verso NW fino a raggiungere i circa 200 m s.l.m. nelle località *Olivola – San Vitale*.

Tale ampia superficie – che può essere assimilata ad un unico versante – si sviluppa per circa 13 ÷ 14 km, interessando prevalentemente litologie a carattere plastico, quindi facilmente erodibili ed è troncata dalla valle del Fiume Calore, incassata rispetto alla superficie sommitale fino a circa 100 m; tale superficie relitta si raccorda verso SW con analoghe superfici che si sviluppano a partire dalla base dei versanti dei rilievi carbonatici e verso NE con un versante che si sviluppa tra la stazione FF.SS. di *Paduli* e l'abitato di *Ponte* con vergenza NW-SE.

Nell'ambito della valle alluvionale, laddove la stessa diviene più ampia, divengono più o meno facilmente riconoscibili le forme morfologiche legate più strettamente alla dinamica fluviale.

Su entrambi i lati del Fiume Calore, ed in particolare in aree prossime o coincidenti con il centro abitato, sono riconoscibili i terrazzi di piena attuale attestati il primo ad una quota di circa 7 ÷ 8 superiore a quella dell'alveo fluviale, la seconda ad una quota di circa 20 m superiore.

Un'altra superficie terrazzata è ancora riconoscibile, anche se in maniera meno evidente, nel centro storico cittadino, in corrispondenza della zona di *Santa Sofia*, ad una quota di circa 155 m s.l.m., presente anche in destra orografica del Fiume Calore (*Masseria Tomaciello*, q = 150 m s.l.m.); detto terrazzo risulta essere chiaramente erosivo, in quanto tronca i depositi alluvionali antichi e – almeno nel centro storico – i dati stratigrafici indicano assenza di depositi sommitali più recenti e presenza di materiali piroclastici residuali.

Procedendo verso quote più alte si individua un quarto terrazzo ubicato ad una quota di circa 70 ÷ 80 m, ben visibile nella zona di *Loc. Cretarossa* e, in destra orografica dell'alveo fluviale, in *Masseria Acquafredda* e *Masseria Belvedere*.

In corrispondenza di quest'ultima località, si riconoscono i depositi alluvionali antichi ricoperti da depositi eluvio-colluviali con frammisti prodotti piroclastici più o meno argillificati ed inclusi cineritici e pumicei attribuibili ad eruzioni recenti del complesso vulcanico del *Somma – Vesuvio* (eruzione di *Avellino*, 3.000 anni b.p.); pertanto anche in tal caso il terrazzo alluvionale presenta chiara origine erosiva.

In conclusione, pertanto, si può affermare che buona parte del territorio comunale di Benevento è morfologicamente interessato da un'ampia superficie relitta che, partendo dalla zona di *C.da Olivola* e *C.da San Vitale* con quote nell'intorno dei 200 m s.l.m. si sviluppa verso SE, dissecata dal corso del Fiume Calore che, nel corso della sua evoluzione, ha creato quattro ordini di terrazzi incassati in detta superficie relitta, riconoscibili sia in destra che in sinistra orografica dell'alveo fluviale.

I terrazzi del I°, II° e III° ordine presentano caratteristiche chiaramente erosive, in quanto troncano un'unica generazione di depositi costituita dalle "alluvioni antiche" ed i depositi alluvionali contemporanei alla formazione di queste superfici erosive sono generalmente assenti o talora sembrano presentare spessori molto limitati; quindi la sola superficie del terrazzo di IV° ordine (7 ÷ 8 m) risulta essere una superficie deposizionale.

Pertanto i quattro ordini di terrazzi sono forme sviluppate per successivi rapidi approfondimenti del corso d'acqua separati da periodi relativamente lunghi in cui le basse pendenze del corso d'acqua permettevano l'innescò dei processi di planazione laterale con lo sviluppo di superfici erosive a bassa pendenza che troncavano le alluvioni antiche con livelli cementati.

In definitiva, quindi, le attuali forme morfologiche che caratterizzano il territorio comunale – censite ed evidenziate nella *Carta della Pericolosità Geomorfologica ed Idraulica* – risultano essere il frutto di una complessa evoluzione geodinamica del territorio, sostanzialmente controllata, almeno in epoche recenti, dall'attività dei due corsi d'acqua principali.

4. Il Territorio: Caratteristiche Geologiche e Strutturali

L'area beneventana costituisce una depressione tettonica colmata da depositi pliocenici e quaternari poggianti, in discordanza angolare, su antiche successioni intensamente deformate dalle spinte tettoniche compressive cenozoiche.

La storia geologico-strutturale del bacino beneventano è compresa in quella di una vasta area dell'Appennino Meridionale: la catena appenninica è, infatti, rappresentata da un edificio a coltri generato da forti spinte tettoniche di tipo compressivo che hanno causato l'impilamento di potenti coltri, sia autoctone che alloctone, con fenomeni di sovrascorrimento e subduzione, peraltro particolarmente attivi in corrispondenza dell'arco Calabro; successivamente tale edificio è stato dislocato, principalmente per faglie dirette, durante il Pliocene.

Al fine di delineare le principali tappe dell'evoluzione geologica dell'area beneventana, è necessario inquadrare la stessa nel contesto geologico generale dell'area appenninica: la catena appenninica, infatti, ed in particolare il suo segmento meridionale nell'ambito del quale ricade l'abitato di Benevento, rappresenta uno dei principali elementi strutturali originatisi dall'evoluzione geodinamica, tutt'ora in atto, del bacino mediterraneo.

In particolare, la catena appenninica ha avuto origine dal fenomeno di subduzione della zolla adriatica (margine settentrionale del continente africano) al di sotto del margine continentale europeo: tale subduzione ha determinato la progressiva deformazione di domini paleogeografici mesocenozioci corrispondenti ad ambienti di piattaforma carbonatica e di mare basso, di transizione e di bacino pelagico che su detta zolla si sviluppavano.

Tali fenomeni di deformazione, il cui motore è rappresentato dalla forte spinta compressiva del continente africano, hanno progressivamente determinato lo scollamento delle potenti coperture sedimentarie – sia carbonatiche che terrigene – relative a detti domini e l’impilamento complesso delle stesse coperture sedimentarie in modo da costituire l’edificio appenninico.

Successivi eventi di natura distensiva hanno accompagnato la costituzione della catena, articolandone maggiormente la struttura.

Durante la costituzione della catena, i fenomeni di sedimentazione risultano particolarmente intensi in corrispondenza di due tipi di bacini sin-orogene: il bacino di *avanfossa*, situato lungo il fronte di avanzamento della catena ed i cui potenti depositi vengono progressivamente inglobati dalla stessa, ed i bacini *intracatena*, in zone più interne, impostati su coltri già deformate e laddove determinano depressioni tettoniche o strutturali (bacini di “*piggy-back*”).

Tale ultimo tipo di bacino, le cui successioni sedimentarie affiorano diffusamente in area catena ed anche nel territorio beneventano, assumono particolare rilevanza per la comprensione dell’evoluzione geologica della catena stessa.

Cronologicamente, a partire dal Miocene il settore settentrionale del continente africano viene investito da varie fasi tettoniche compressive, con direzione W-E, che modificano profondamente l’originario assetto paleogeografico, dato – come già innanzi evidenziato – da un susseguirsi di grandi bassifondi a sedimentazione prevalentemente carbonatica di tipo biogenico (piattaforme carbonatiche) e zone di bacino più o meno profonde (*Bacino Lagonegrese*).

La fase orogenetica aquitaniana - langhiana può essere considerata una delle più importanti nella costituzione dell’edificio a coltri dell’Appennino meridionale; in tale periodo, infatti, la tettonogenesi già attiva

nelle aree interne della catena, si manifesta vistosamente anche nei domini esterni: la piattaforma carbonatica viene interessata da rapido annegamento con sedimentazione che da carbonatica passa a calcarenitica e quindi arenacea; contemporaneamente una serie di coltri di provenienza interna, tra cui le “Unità Sicilidi”, ricoprono tettonicamente le aree di piattaforma e, successivamente, le scavalcano.

Quest'ultima, parzialmente smembrata, sovrascorre sui terreni dell'adiacente “Bacino Lagonegrese”, nell'ambito del quale si rilevano anche sovrascorrimenti nelle falde della zona assiale.

Si assiste, quindi, alla scomparsa del *Bacino Lagonegrese* ed alla formazione di un bacino di avanfossa s.l. (“*Bacino Irpino*”) impostato in parte sulle coltri di provenienza interna ed in parte sui terreni più esterni del preesistente bacino Lagonegrese, non ancora interessati dalla tettogenesi.

La sedimentazione che si instaura al piede delle coltri in avanzamento nel Tortoniano inferiore - Langhiano superiore è di tipo neritico, prettamente terrigeno: il materiale veniva eroso dagli stessi terreni che costituivano le coltri di ricoprimento del margine del bacino e da una probabile area cristallina emergente in posizione più occidentale.

Le successive fasi tettoniche mio - plioceniche provocano ulteriori traslazioni verso oriente delle unità individuate nelle precedenti fasi e conferiscono all'edificio appenninico l'attuale assetto “a coltri di ricoprimento”.

Le fasi neotettoniche plio-pleistoceniche determinano la surrezione e lo smembramento in blocchi della catena già formatasi; in particolare tali fasi di surrezione determinano, nell'area beneventana, la formazione di strutture monoclinali immergenti generalmente verso NNE, delimitate da lineamenti tettonici con orientamento Est-Ovest e meridiano, che hanno favorito la sedimentazione di depositi continentali (fluviali e fluvio-lacustri) nelle zone tettonicamente depresse (Valle del Fiume Calore).

Sulla scorta delle brevi note di cui innanzi, pertanto, le unità geologiche che costituiscono la catena appenninica possono essere suddivise in quattro classi:

- 1) Unità costituite dalle successioni sedimentarie mesocenozoiche depositatesi nell'ambito dei domini paleogeografici esistenti prima dei fenomeni orogenetici compressivi (unità pre-orogene), deformate e traslate da tali fenomeni;
- 2) Unità costituite dalle successioni sedimentarie che testimoniano i diversi bacini di avanfossa;
- 3) Unità costituite da successioni sedimentarie che testimoniano bacini intracatena;
- 4) Unità costituite da depositi quaternari di ambiente continentale: depositi eluvio-colluviali, depositi detritici di versante, cumuli di frana, depositi piroclastici, depositi alluvionali in genere.

Nelle aree sottese dallo studio e con riferimento alla suddivisione di cui innanzi ed alla *Carta Geolitologica*, si può affermare che la quasi totalità della zona a nord del centro abitato è caratterizzata dall'affioramento di sedimenti argillosi, argillitici e calcareo marnosi afferenti le successioni dell'unità pre-orogene del *Bacino Lagonegese-Molisano*; essi rappresentano i sedimenti più antichi affioranti nell'area in studio.

Altri diffusi affioramenti di tali sedimenti si rilevano in sinistra orografica del Fiume Calore, a monte dell'area ASI di *Ponte Valentino (C.de Procella Pacchiano – Masseria Grande)* ed in corrispondenza del margine sud-occidentale del territorio comunale.

Nell'ambito delle successioni afferenti le unità lagonegresi – suddivise nella *Carta Geolitologica* in due diverse facies, una prima argilloso-calcareo-marnosa ed una seconda calcareo-marnoso-argillosa – si rileva di frequente la presenza di grossi olistoliti carbonatici di età cretacea, a volte aventi notevoli dimensioni, tanto da poter essere cartografati; essi

rappresentano probabilmente frammenti delle zone marginali della piattaforma carbonatica pre-orogene, strappati e traslati durante le fasi orogenetiche compressive.

Le successioni delle unità lagonegresi sono prevalentemente costituite da litologie a comportamento plastico, sempre fortemente deformate e quindi facilmente erodibili dagli agenti esogeni; generalmente su dette successioni poggiano, sia per contatto stratigrafico – di norma discontinuo e discordante – sia per contatto tettonico le unità sin-orogene.

La zona meridionale del territorio comunale di Benevento, di contro, è caratterizzata dall'affioramento di sedimenti pliocenici sin-orogene: la successione stratigrafica genericamente denominata come “Unità di Ariano” rappresenta il colmamento di un bacino intrappenninico impostato sulle coltri del Bacino Lagonegrese-Molisano: la successione – che presenta sensibili eteropie di facies – è costituita, in modo schematico e semplificato, da un membro basale pelitico arenaceo di ambiente neritico, da un successivo membro sabbioso arenaceo di ambiente costiero e/o di battigia ed un terzo membro conglomeratico da conoide alluvionale.

Nelle aree di affioramento della successione pliocenica, comprese tra le contrade *Monte Pino*, *Torre Alfieri*, *Monteguardia* e, in parte, *Cancelleria* prevale il membro sabbioso arenaceo o sabbioso conglomeratico (*Monteguardia - Borgonero*).

Il rilievo collinare della “*Gran Potenza*”, di contro, mostra il diffuso affioramento del membro basale delle formazione, costituito dai termini pelitico arenacei.

In corrispondenza del rilievo collinare di *C.da San Vitale*, infine, si rileva ancora un affioramento residuale relativamente limitato di terreni ascrivibili a successioni sin-orogene: i depositi sabbioso arenacei ivi affioranti sono stati, infatti, classificati come afferenti alla serie miocenica (Messiniano superiore) della *Unità di Tufo – Altavilla*.

Tale unità - secondo alcuni autori - apparterebbe al sistema di bacini avanfossa messiniano dell'appennino meridionale e sarebbe costituito da una prima successione basale di depositi evaporitici da facies subtidali e di ambiente marino più profondo al quale seguono depositi sia da facies continentali di ambienti fluviale e/o lacustre che da facies lago-mare; secondo altri autori, di contro, i depositi dell'unità di Tufo-Altavilla apparterebbero ad un bacino intracatena simile a quello dei depositi dell'unità di Ariano.

Nella zona centrale del territorio comunale di Benevento ed in corrispondenza delle aree urbane affiorano essenzialmente depositi quaternari di origine continentale, prevalentemente di origine alluvionale.

Nella *Carta Geolitologica* sono state distinte complessivamente cinque unità costituite da depositi alluvionali:

a) Depositi alluvionali antichi di Loc. Pacevecchia

Nell'ambito territoriale beneventano tali depositi costeggiano il Fiume Calore dalla zona di confluenza del *Fiume Tammaro* in *Loc. Ponte Valentino* fino alla zona retrostante la *Stazione FF.SS.* ed affiorano diffusamente nell'ambito del centro storico.

Essi vengono suddivisi in tre facies corrispondenti ad ambienti paleogeografici sostanzialmente diversi nell'ambito di un unico ciclo deposizionale: una prima facies (*a*) è costituita elementi lapidei grossolani, mal stratificati, talora legati da cemento di natura carbonatica che conferisce consistenza lapidea al deposito, con intercalazioni lentiformi di sabbie o limi sabbiosi, una seconda facies (*b*) rappresenta la transizione, con fenomeni di interdigitazione, tra la prima e la terza (*c*), data da limi sabbiosi ed argille limose con colorazioni che variano tra il grigio e l'avana giallastro; tali ultimi depositi - rinvenuti ed identificati esclusivamente nel corso dei sondaggi ma mai in affioramento - sono caratterizzati dalla presenza di livelli e/o inclusi

torbosi, diffuse tracce di concrezioni carbonatiche e resti di gasteropodi terrestri.

La potenza complessiva dell'intera successione dovrebbe essere superiore ai 100 m, con la presenza di numerosi terrazzi alluvionali (almeno quattro) di cui uno principale attestato ad una quota di circa 70 ÷ 80 m sull'attuale livello di golena del Fiume Calore, formatosi a seguito di una fase di sollevamento che avrebbe comportato la reincisione dei depositi alluvionali.

L'età attribuita alla successione è riferibile al periodo glaciale *Riss* (200.000 ÷ 120.000 anni b.p.), anche se recenti studi (*Progetto Traiano*) ipotizzano - a seguito di una ricostruzione geologica e geomorfologica dell'area sostanzialmente diversa, che rivoluziona i modelli geologici del sottosuolo di Benevento e, di conseguenza, modifica profondamente il significato degli elementi strutturali tracciati (faglie) - una attribuzione di tali depositi al Pliocene medio.

L'origine di tali depositi, in relazione sia alle caratteristiche deposizionali che litologiche, potrebbe essere ricondotto - secondo tali autori - ad una situazione paleogeografia rappresentata da una ampia piana alluvionale a canali interdigerati tipo "*braided*": la facies di tipo "*a*" corrisponderebbe a depositi di canale, la facies di tipo "*b*" corrisponderebbe a depositi di transizione tra quelli di canale e quelli di piana inondabile (depositi di argine), mentre la terza facies (*c*) corrisponderebbe a depositi di piana inondabile, in cui esistevano più o meno estesi ambienti di tipo palustre.

Alcune caratteristiche diagenetiche di tali depositi (presenza di cospicue concrezioni carbonatiche, presenza di livelli sabbiosi cementati), infine, indicherebbero che gli stessi si sono depositi in un regime climatico di tipo semiarido e comunque caratterizzato dalla frequente presenza di periodi secchi.

b) Depositi fluvio-lacustri di San Giorgio

Tali depositi affiorano in sinistra orografica della valle alluvionale del *Torrente San Nicola*, in *Loc. Pacevecchia* ed in un'ampia zona che da *C.da San Cumano* arriva fino al margine sud orientale del territorio comunale.

Sono costituiti da ghiaie mal stratificate immerse in una abbondante matrice sabbiosa di colore giallastro o rossastro; frequenti risultano le intercalazioni di sabbie grossolane e di livelli argilloso siltosi di colore grigiastro, spesso ricchi di sostanze organiche.

L'origine di tali depositi sembra essere sicuramente connessa con l'antico corso del Fiume Calore

La potenza di tali depositi non dovrebbe essere superiore ai 30 m, mentre la datazione risulta incerta; tuttavia, considerato che gli stessi sembrano poggiare, sulla scorta dei dati stratigrafici disponibili, sui depositi alluvionali antichi, la loro età dovrebbe essere relativamente più recente.

c) Depositi alluvionali antichi di Loc. Cretarossa

Tali depositi sono riconosciuti e cartografati nella zona di *Loc. Cretarossa* e probabilmente in una ristretta fascia che giunge fino a *Loc. Capodimonte*, in corrispondenza di una superficie terrazzata la cui quota si eleva di circa 70 ÷ 80 m al di sopra della gola del Fiume Calore; nella zona più prossima al *Rione Mellusi* essi compaiono al di sotto di una coltre di sedimenti detritici e piroclastici spessa alcuni metri.

Il deposito, il cui spessore dovrebbe raggiungere i 20 m circa, è costituito da argille siltose e/o sabbiose generalmente compatte, con inclusione di ciottoli eterometrici i quali presentano spesso patine manganesifere e limonitiche, alternate a livelli sabbiosi irregolari e rari livelli ghiaiosi ricchi di matrice sabbiosa; frequenti risultano essere i resti organici.

Anche in tal caso l'età del deposito risulta incerta, ma i dati stratigrafici indicano che gli stessi – analogamente ai precedenti – poggiano sui depositi

alluvionali antichi e – probabilmente – anche sul substrato pliocenico; essi potrebbero essere correlati – come ricostruzione paleogeografia – con i depositi fluvio lacustri di San Giorgio.

d) Depositi alluvionali terrazzati

Tali depositi corrispondono a lembi residuali di terrazzi alluvionali ubicati ad una quota di circa 20 m superiore all'attuale alveo dei Fiumi Sabato e Calore; affiorano nella zona di *Cellarulo – Madonna delle Grazie, Rione Ferrovia, Pezzapiana, Crocella Pacchiano* ed a valle del centro storico tra la confluenza del *Torrente San Nicola* ed il ponte sul Fiume Calore.

Sono essenzialmente costituiti da ghiaie eterometriche alternate a livelli sabbiosi lenticolari e rari livelli siltosi e siltoso argillosi.

In relazione alla circostanza che alla sommità di tali depositi si rinvergono i sedimenti piroclastici afferenti alla "*Ignimbrite Campana*", la cui messa in posto è attribuita ad un'eruzione del complesso vulcanico del *Somma-Vesuvio* datata circa 39.000 anni b.p., la deposizione dei sedimenti alluvionali terrazzati può essere considerata anteriore, quindi riferita al periodo glaciale Würm (75.000 ÷ 10.000 anni b.p.).

e) Depositi alluvionali attuali e recenti

Costituiscono le alluvioni attuali e recenti dei due fiumi principali (*Sabato e Calore*) nonché delle maggiori incisioni torrentizie (*San Nicola e Serretelle*).

La potenza di detti sedimenti, costituiti da sabbie e ghiaie allo stato sciolto, è in genere limitata nelle aree golenali e nelle valli alluvionali dei Torrenti *San Nicola, Serretelle* e del Fiume *Sabato*, non superiore – nella norma – ai 3.00 m circa, mentre nelle aree prospicienti il Fiume *Calore* e la confluenza di quest'ultimo con il Fiume *Sabato* si rinvergono fino ad una quota di circa 8.00 m superiore all'attuale alveo, formando il terrazzo alluvionale più recente.

In considerazione che nella parte più interna di tale terrazzo, almeno nelle zone prossime al Fiume *Calore*, i depositi alluvionali sono normalmente

ricoperti da spessori variabili di paleosuolo nel quale sono evidenti e ben riconoscibili prodotti piroclastici alterati e pomici grigiastre attribuibili alla “eruzione di Avellino” del complesso vulcanico *Somma – Vesuvio*, datata circa 3.000 anni b.p., si può affermare che la formazione di quest’ultimo terrazzo alluvionale sia certamente anteriore a tale evento.

In ordine ai fattori geologico-strutturali che hanno determinato la deposizione di tali potenti depositi alluvionali, si può ritenere che essi siano di natura prevalentemente tettonica: i citati sedimenti alluvionali, ed in particolare i potenti depositi rissiani, rappresenterebbero il risultato del rapido colmamento di un stretto ed allungato bacino fluvio-lacustre subsidente - sbarrato verso est dalla dorsale miocenica *Toppa Pallotta / Monte Sant’Angelo* - la cui formazione è legata ad una intensa fase tettonica pleistocenica che ha determinato un sensibile sollevamento della catena appenninica.

Alcuni autori ritengono, ancora, che la formazione del terrazzo alluvionale alla quota di circa 70 ÷ 80 m nell’ambito dei depositi alluvionali rissiani sarebbe legata ad una successiva fase tettonica di sollevamento che avrebbe determinato l’incisione dei sedimenti già depositati, mentre la formazione degli ultimi terrazzi (20 m ed 8 m) sarebbe da attribuire agli ultimi eventi climatici.

La probabile attivazione di una serie di faglie generalmente riconosciute dagli autori (una serie di faglie con orientazione E-W di cui una, in particolare, ubicata immediatamente a nord del centro storico di Benevento ed una serie - meno importante - con orientazione N-S) avrebbero determinato la creazione di una soglia ad W della confluenza Sabato - Calore, permettendo l’instaurarsi di condizioni paleogeografiche favorevoli alla deposizione di sedimenti fluvio-lacustri, nonché determinato successive fasi di sovralluvionamento e reincisione.

Nella *Carta Geolitologica* sono riportati, laddove caratterizzati da potenza tecnicamente significativa e quindi cartografabili, anche depositi

quaternari di versante, suddivisi – ove possibile – in depositi da “*debris-flow*” e colluviali e depositi piroclastici (cineriti e lapilli da caduta) più o meno pedogenizzati frammentati a prodotti eluvio-colluviali.

Tali depositi bordano generalmente la parte basale dei versanti più acclivi ed assumono potenza massima pari a qualche metro.

In ambito urbano assumono particolare importanza – per estensione e potenza – i depositi piroclastici rilevati in una ampia zona del *Rione Mellusi* ed a valle di *Via Avellino*.

Nell’ambito del *Centro Storico*, infine, è stata indicata e cartografata – anche in tal caso laddove di potenza significativa – la presenza di depositi da rimaneggiamento antropico, frutto di successive variazioni del tessuto urbano a seguito dei numerosi eventi sismici che periodicamente hanno quasi completamente distrutto il centro abitato; essi sono costituiti da materiali limoso sabbiosi e piroclastici residuali in cui si rinvenivano elementi antropici di varia natura, quali frammenti di laterizio, malta, cocci, vasellame, ossa, carbone: tali reperti sono attribuibili alla frequentazione dell’area da epoca romana e/o pre-romana fino a medioevale, ma i sedimenti che li contengono hanno probabilmente subito rimaneggiamenti anche in epoche più recenti.

5. Il Territorio: Caratteristiche Idrogeologiche

Dal punto di vista idrogeologico, l'ambito territoriale beneventano è caratterizzato – come già innanzi evidenziato – dall'affioramento di sedimenti argillosi ed argillitici con intercalazioni carbonatiche nella fascia più settentrionale, da sedimenti sabbioso arenacei nella fascia meridionale; in prossimità dei principali corsi d'acqua, ed in particolare nella zona assiale del territorio comunale, i sedimenti di dette formazioni sono ricoperti da potenti depositi alluvionali e fluvio-lacustri pleistocenici ed olocenici.

Nell'ambito di tale area possono essere definiti cinque complessi idrogeologici principali, le cui caratteristiche peculiari sono di seguito sinteticamente evidenziate, oltre ad una serie di complessi secondari e poco significativi (coltri eluvio-colluviali, depositi piroclastici residuali, depositi di versante e da debris-flow).

Complesso argilloso marnoso (Flysch Rosso)

Tale complesso comprende le successioni del “*Flysch Rosso*” nella facies marnoso argillosa, ed affiora in buona parte del territorio comunale.

E' caratterizzato da bassa o nulla permeabilità e comunque si comporta sempre da tampone impermeabile relativo rispetto ai litotipi con i quali viene a contatto; spesso tali sedimenti assumono funzione di substrato impermeabile per i sovrastanti depositi alluvionali del Fiume Calore, dando luogo al drenaggio delle acque verso l'alveo fluviale.

Tuttavia, nonostante i bassi valori di permeabilità, nelle aree di affioramento di tali sedimenti si rileva di frequente la presenza di corpi idrici molto superficiali, con superficie piezometrica libera attestata a profondità non superiori ai 5.00 m circa dal piano di campagna.

Tali livelli idrici, caratterizzati da portate sempre estremamente modeste e che spesso hanno carattere tipicamente stagionale (di frequente si assiste alla loro totale scomparsa nelle stagioni secche), sono attestate nell'ambito delle coltri più superficiali, laddove fenomeni di alterazione subaerea rendono le stesse più permeabili, e sono tamponate inferiormente per limite di permeabilità relativa dai terreni integri della formazione.

Tale falda superficiale, per i motivi di cui innanzi, presenta morfologia marcatamente adattata alla superficie topografica, con risalita della superficie piezometrica quasi a piano campagna laddove diminuisce lo spessore delle coltri superficiali (alcune zone di *C.da Olivola*) e/o con recapiti preferenziali verso aree vallive o in corrispondenza di incisioni torrentizie, laddove la stessa superficie topografica incide i livelli piezometrici.

Analoga situazione si verifica anche in corrispondenza degli affioramenti della facies argillosa dell'*Unita di Ariano*, con la differenza che, essendo la formazione costituita da termini litologici meno eterogenei, risulta più bassa la possibilità che si instauri una circolazione idrica superficiale e le portate di tali membri idrici sono, in genere, ancora più modeste.

Complesso calcareo marnoso (Flysch Rosso)

Tale complesso comprende le successioni del "*Flysch Rosso*" nella facies calcareo argillosa, ed affiora in modo significativo nella zona nord del territorio comunale, fra le *C.de La Francesca, Francavilla, Lammia, Caprarella*.

Tale complesso è costituito da termini calcarei, calcareo-marnosi, e selciosi con intercalazioni marnose, argillose ed argillitiche, con netta prevalenza di grossi ammassi carbonatici racchiusi entro termini meno permeabili.

Nell'ambito di tale ammasso assumono fondamentale importanza il grado di fatturazione dei termini francamente lapidei e la presenza di piccoli sistemi di faglie: le superfici disgiuntive degli ammassi carbonatici, infatti,

fungono da vie preferenziali per l'infiltrazione idrica ma, in relazione all'elevato grado di fatturazione del complesso, rendono la circolazione idrica sotterranea molto articolata e complessa.

Le frequenti alternanze di strati e/o livelli a permeabilità relativa inferiore – quindi con funzioni di tampone – dati da marne ed argilliti, anch'esse fortemente caoticizzate per stress tettonici, creano sbarramenti ai circuiti idrici sotterranei per contatto diretto tra termini a permeabilità relativa a volte sensibilmente diversa.

Tale complessa ed articolata situazione idrogeologica determina la presenza nell'area in oggetto di numerose scaturigini, alcune di tipo stagionale ed altre perenni, normalmente caratterizzate da portate piuttosto modeste; tra queste può essere segnalata la sorgente perenne di *Pietrafitta*, captata a mezzo di una galleria drenante, che ancora oggi contribuisce – anche se con portate modeste, variabili stagionalmente da circa 1,00 l/sec a circa 3,00 l/sec – all'alimentazione idrica cittadina.

Un primo step di un'indagine idrogeologica conoscitiva eseguita alcuni anni orsono nell'ambito di tale area, esplicatasi essenzialmente mediante un censimento dei punti d'acqua e l'esecuzione di alcuni pozzi-pilota, ha confermato tale complessa situazione idrogeologica.

Nella zona compresa tra le contrade innanzi citate, infatti, esistono numerosi pozzi, spinti a profondità variabile tra poche decine di metri ad oltre cento metri; le portate emunte, sulla scorta di dati empirici forniti dai proprietari, sono molto variabili, dai pochi litri ad alcune decine di litri al secondo; in linea di massima tutte le captazione evidenziano portate perenni.

I pozzi eseguiti a cura dell'Amministrazione Comunale e le relative prove di portata hanno evidenziato – in prima battuta – che l'intera area può essere considerata come un enorme serbatoio, caratterizzato da un sistema idrogeologico del tipo “*multifalda*” discontinuo, nell'ambito del quale si rilevano anche fenomeni di carsismo; le prove di portata eseguite su alcuni

pozzi evidenziano portate istantanee apprezzabili (anche $30 \div 50$ l/sec) ma una lenta risalita del livello piezometrico al termine della fase di emungimento.

Quanto innanzi – salvo più approfonditi studi – porta ad ipotizzare che il complesso idrogeologico sia costituito da un sistema di falde sovrapposte, più o meno comunicanti, con infiltrazione idrica lungo vie preferenziali, tamponato inferiormente e lateralmente da termini litologici a minore permeabilità relativa e probabilmente caratterizzato da scarsa alimentazione superficiale.

Complesso sabbioso arenaceo (Unità di Ariano)

Comprende le successioni afferenti l'Unità di Ariano nella facies sabbioso arenacea, diffusamente affioranti nella fascia meridionale del territorio comunale, dissecate dalle valli alluvionali dei Torrenti *Serretelle* e *San Nicola* e del *Fiume Sabato*; a tale complesso possono essere assimilati anche i sedimenti sabbioso arenacei afferenti le successioni dell'Unità di *Tufo-Altavilla* affioranti in C.da *San Vitale*.

Tali sedimenti risultano essere caratterizzata da una certa omogeneità litologica, essendo costituiti da alternanze di sabbie e sabbie limose, talora gradate, ed arenarie tenere con passaggio, nella fascia superiore, a depositi francamente conglomeratici (*Pacevecchia – Monte Guardia*) e verso il basso a depositi limoso sabbioso argillosi (Cfr. capitolo 3).

Anche nell'ambito di tali depositi è tipica la presenza di una circolazione superficiale, che si sviluppa con creazione di una superficie piezometrica attestata a profondità di $5.00 \div 7.00$ m dal piano di campagna nell'ambito delle coltri alterate ed areate, supportata dai sedimenti integri della formazione; i membri idrici che si determinano sono generalmente molto modesti, spesso stagionali, strettamente legati alla morfologia della superficie topografica.

Peraltro, in relazione ai parametri di media ed elevata acclività che caratterizzano i versanti delle aree di affioramento di detta formazione, i maggiori accumuli idrici si concentrano ai piedi degli stessi versanti, disperdendosi spesso nell'ambito delle coltri eluvio-colluviali ed ai depositi misti da debris-flow ivi presenti, oppure vengono drenati dalle aste torrentizie minori.

Tuttavia il complesso idrogeologico risulta caratterizzato a grande scala da una permeabilità per porosità, strettamente controllata dalle variazioni granulometriche che nell'ambito della stessa si riscontrano e che determinano variazioni di permeabilità relativa; esso potrebbe rappresentare un discreto serbatoio idrico, e di tanto ne sono testimonianza alcuni pozzi più o meno profondi presenti nelle aree di affioramento della formazione, caratterizzate – secondo notizie apprese empiricamente dagli utilizzatori - da portate apprezzabili.

Complesso alluvionale conglomeratico (Depositi alluvionali antichi)

Comprende i depositi alluvionali Plio-pleistocenici terrazzati del *Fiume Calore*, diffusamente affioranti nel centro urbano di Benevento e prevalentemente in destra orografica dello stesso corso d'acqua (Cfr. *Carta Geolitologica*).

La successione è costituita da due facies nettamente differenti e da una facies di transizione tra le due: la prima è costituita da conglomerati ad elementi lapidei grossolani, mal stratificati, talora legati da cemento di natura carbonatica che conferisce consistenza lapidea al deposito, con intercalazioni lentiformi di sabbie o limi sabbiosi, mentre la seconda è data da limi sabbiosi ed argille limose; nell'ambito della facies di transizione si riscontrano fenomeni di interdigitazione tra i due tipi di sedimenti.

I sedimenti conglomeratici sono generalmente caratterizzati da una permeabilità medio bassa in relazione alla presenza di cospicua matrice

limoso sabbiosa che lega gli elementi lapidei; negli strati francamente lapidei, di contro, laddove il cemento risulta essere di natura carbonatica, la permeabilità risulta essere per fessurazione e fatturazione.

La facies limoso argillosa della formazione, di contro, mai affiorante ma individuata e caratterizzata solo sulla scorta di indagini geognostiche, è complessivamente caratterizzata da bassa permeabilità.

Nell'ambito della successione si determina, quindi, il deflusso preferenziale delle acque di infiltrazione in corrispondenza degli strati a granulometria più grossolana, con creazione di piccole falde sospese per fenomeni di tamponamento da parte di strati meno permeabili; in genere una falda di maggiori potenzialità è insediata alla base della successione – la cui potenza complessiva è stimata in circa 100 m – al contatto con i soggiacenti sedimenti argillosi ed argillitici.

Va tuttavia sottolineato che nelle aree di affioramento della formazione conglomeratica caratterizzate da intensa urbanizzazione, i fenomeni di infiltrazione idrica nell'ambito del complesso idrogeologico sono fortemente limitati dalla impermeabilizzazione di ampie zone della superficie topografica; pertanto in dette aree la potenzialità della falda di base è sensibilmente ridotta.

Nelle restanti aree di affioramento dei depositi conglomeratici, non urbanizzate o caratterizzate da insediamenti antropici estensivi, la falda di base è generalmente drenata dai depositi alluvionali attuali e recenti.

Complesso alluvionale sabbioso ciottoloso (Depositati alluvionali attuali e recenti)

Tale complesso comprende i depositi alluvionali attuali e recenti che bordano i principali corsi d'acqua.

Per quanto riguarda il *Fiume Sabato* e le principali aste torrentizie (*Serretelle* e *San Nicola*), la potenza di detti depositi risulta in genere molto contenuta, variabile tra 2.00 m e 4.00 m circa.

Nell'ampia valle del *Fiume Sabato*, in particolare, i sedimenti alluvionali – dati da sabbie limose e ciottoli allo stato sciolto – sono sempre interessati dalla presenza di una falda idrica perenne, che convoglia le acque di infiltrazione verso l'area golenale dell'asta fluviale.

Nella aree urbane di *Rione Libertà* e zone limitrofe, detta falda – causa la già cennata sostanziale impermeabilizzazione di ampie zone della superficie topografica – è caratterizzata da portate molto modeste, pari in media a $0.30 \div 0.50$ l/sec; nelle aree non urbanizzate, di contro, ed in particolare nella zona più meridionale della valle, la potenzialità della falda risulta maggiore, anche in virtù di probabili apporti che provengono dai versanti della valle stessa, lungo la quale affiorano sedimenti sabbioso arenacei.

Per quanto riguarda i depositi alluvionali del *Fiume Calore*, in virtù della già evidenziata asimmetria della valle dovuta probabilmente a fattori tettonici (Cfr. capitolo 3), la potenza di detti sedimenti risulta notevole, almeno nei tratti della valle con orientazione E-W, determinata in non meno di 80 m.

Inoltre, causa la risalita del substrato argillitico nella zona compresa tra C.da *Crocella Pacchiano* e Loc. *Ponte Valentino*, si determina la creazione di due grossi bacini colmati da depositi alluvionali: il primo nella zona compresa tra C.da *Pantano*, *Rione Ferrovia*, C.da *Pezzapiana* e C.da *Crocella Pacchiano*, la seconda in Loc. *Ponte Valentino*, grosso modo nell'area di confluenza con il Fiume *Tammara*.

I depositi alluvionali attuali e recenti del Fiume Calore sono caratterizzati da medio alta o alta permeabilità per porosità e subordinatamente per fessurazione negli strati più profondi, laddove si rilevano fenomeni di cementazione.

La sovrapposizione ciclica di termini litologici di varia granulometria nell'ambito del deposito determina una circolazione idrica tipo

“multifalda”, con creazione di una serie di falde sovrapposte insediate in livelli più grossolani, tamponate inferiormente da strati a granulometria più fine; in genere, tuttavia, in mancanza di soluzioni di continuità tali da isolare completamente i singoli corpi idrici, gli stessi possono essere considerati come un’unica falda.

La potenzialità di detta falda risulta notevole, rappresentando il bacino compreso tra *Pantano* e *Pezzapiana* la primaria fonte di approvvigionamento idropotabile della città di Benevento ed il bacino di *Ponte Valentino* la primaria fonte di approvvigionamento idrico dell’area industriale ivi presente.

Le portate unitarie emunte a scopi idropotabili nei due campi-pozzi cittadini (*Pezzapiana* e *Campo Mazzoni*) risultano pari a circa $130 \div 140$ l/sec, mentre in Loc. *Ponte Valentino* gli emungimenti su singolo pozzo raggiungono – ed a volte superano – i 30 l/sec.

Pertanto, in relazione ai valori di alta permeabilità ed alle ottime qualità di serbatoio che caratterizzano l’acquifero, l’importanza di questo complesso idrogeologico è fondamentale nell’economia del territorio beneventano, e pertanto va preservato sia per quanto riguarda le portate che per le caratteristiche idrochimiche delle acque.

6. Il Territorio: Caratteristiche Geotecniche dei Sedimenti

Nel presente capitolo verranno riportate in modo sintetico le fondamentali caratteristiche fisico meccaniche dei sedimenti afferenti le principali formazioni affioranti in ambito comunale, almeno limitatamente a quelle per le quali si hanno dati sperimentali in merito, e con particolare riferimento agli affioramenti che interessano il centro abitato.

In effetti il presente studio, come già in precedenza evidenziato, si basa prevalentemente sui dati emersi da numerose indagini puntuali eseguite, a vario titolo, in ambito comunale; molte di dette indagini sono corredate, tra l'altro, anche di analisi e determinazioni eseguite in laboratorio geotecnico su campioni di terreno prelevati allo stato indisturbato.

Ciò determina la presenza in archivio di una notevole mole di dati i quali, tuttavia, non risultano distribuiti in modo omogeneo sul territorio, né per quanto riguarda la semplice distribuzione areale, né in riferimento alle singole litologie affioranti; peraltro, la circostanza che dette analisi siano state eseguite in periodi differenti ed a cura di diversi laboratori, determina una ulteriore forte disomogeneità nei dati disponibili.

Pertanto, già in sede di validazione dei dati geotecnici da ritenere attendibili ai fini del presente studio, è stata operata una prima selezione, con esclusione di quei dati che risultavano fortemente incongrui con la maggioranza dei risultati per ogni determinato tipo litologico.

Ciò non significa che tali dati debbano essere considerati errati, ma che, discostandosi sensibilmente da un range medio di variabilità, sono probabilmente relativi a particolari situazioni litologiche non rappresentative del comportamento geotecnico - a grande scala - del tipo litologico considerato.

Quanto innanzi risulta perfettamente coerente con le finalità del presente studio, teso alla caratterizzazione geolitologica a grande scala del territorio; pertanto i dati che verranno di seguito discussi sono da considerarsi - si ribadisce - rappresentativi del comportamento geotecnico a grande scala di ogni singola formazione geologica considerata, demandando alle necessarie fasi di indagine geognostica da esperire preliminarmente alla realizzazione di ogni tipologia di intervento, la caratterizzazione puntuale di ogni singolo sito.

Sedimenti argilloso marnosi della successione tipo Flysch Rosso [SFRma]

I sedimenti afferenti tale formazione rientrano granulometricamente nella norma delle argille e dei limi, con variabili percentuali in frazione sabbiosa; si rileva, in particolare, che tale frazione sabbiosa risulta prevalentemente concentrata negli strati più superficiali della formazione.

Essi, in genere, sono dotati di caratteristiche fisiche e geomeccaniche apprezzabili anche a modesta profondità; solo gli strati più superficiali, nella media per profondità comprese tra 2.00 m e 4.00 m dal piano di campagna ed in particolare nelle aree di affioramento caratterizzate da superficie topografica subpianeggiante, si presentano alterati e fortemente plasticizzati e sono dotati di caratteristiche fisiche e geomeccaniche sensibilmente più scadenti rispetto ai sottostanti sedimenti.

Tale circostanza è probabilmente da imputare all'impermeabilità di tali sedimenti che, in condizioni di l'acclività quasi nulla, favoriscono fenomeni di impaludamento, che sottopongono per lungo tempo i terreni argillosi al contatto con l'acqua di precipitazione; quest'ultima, in filetti fluidi, riesce a permeare i sedimenti seguendo la concentrazione litoide o sabbiosa (quindi relativamente più permeabile) in essi inclusa, favorendo, quindi, il passaggio da stati di consistenza solido plastici a stati francamente plastici.

I sottostanti sedimenti presentano caratteristiche fisiche e geomeccaniche che tendono ad aumentare costantemente e gradualmente procedendo in profondità, fino a raggiungere gli strati francamente integri della formazione a profondità comprese tra 10.00 m e 15.00 m circa.

I campioni analizzati presentano peso di volume naturale compreso, in media, tra $\gamma = 1.90 \text{ gr/cm}^3$ e $\gamma = 2.10 \text{ gr/cm}^3$, indice dei vuoti in genere inferiore ad 1.00, porosità mediamente compresa tra il 30.0 % ed il 50.0 % e contenuto naturale in acqua W_n mediamente compreso nell'intorno del 20 % per i campioni a matrice francamente argillosa, mentre raggiunge valori anche superiori al 30 % in campioni caratterizzati dalla presenza di frazione sabbiosa; il peso di volume dei sedimenti alterati e plasticizzati, di contro si attesta nell'intorno di $\gamma = 1.80 \text{ gr/cm}^3$.

Gli indici di consistenza risultano compresi tra $0.70 < I_c < 1.00$ per i campioni prelevati in seno alla formazione argillitica inalterata o poco alterata, così che gli stessi possono essere classificati a consistenza da "solido plastica" a "semisolido"; i campioni prelevati nell'ambito delle coltri superficiali, di contro, presentano indici di consistenza prossimi o inferiori al valore di 0.70, così da essere classificati a consistenza "plastica".

Le caratteristiche geomeccaniche dei sedimenti studiati rientrano nell'ambito dei valori tipici delle argille e dei limi sovraconsolidati: i valori della coesione in termini di tensioni efficaci, variano tra 0.10 Kg/cm^2 e 0.40 Kg/cm^2 , con valori dell'angolo di attrito interno compresi tra 18 e 25 gradi, a seconda della presenza o meno di significativo scheletro sabbioso; evidentemente anche in tale caso i valori più bassi competono, in linea di massima, a sedimenti prelevati in seno alle coltri più superficiali.

La coesione non drenata presenta in media valori compresi tra 0.50 Kg/cm^2 e 2.00 Kg/cm^2 , confermando il già evidenziato graduale aumento delle caratteristiche geomeccaniche di tali sedimenti procedendo in profondità.

I risultati di prove di compressibilità edometrica consentono di classificare i sedimenti argillosi più superficiali come “compressibili”; i valori del modulo edometrico risultano, infatti, essere esigui anche per intervalli di carico bassi.

I sedimenti più profondi, di contro, risultano essere poco compressibili e sovraconsolidati; il valore del modulo edometrico risulta elevato già a partire dagli intervalli di carico più bassi ($E_{ed} = 60.00 \div 90.00$ Kg/cm² per il range di pressioni assiali $0.50 < \sigma \leq 1.00$ Kg/cm² e $E_{ed} = 90.00 \div 120.00$ Kg/cm² per il range $1.00 < \sigma \leq 2.00$ Kg/cm²).

Sedimenti limoso argillosi dell'Unità di Ariano [UAs]

Granulometricamente i sedimenti riconducibili a tale formazione rientrano nella classe del limo e dell'argilla, con variabile contenuto in frazione sabbiosa.

Anche in tal caso si rileva, nella norma, la presenza di strati superficiali caratterizzati da spinta alterazione, la cui potenza risulta variabile tra 2.00 m e 3.00 m dal piano di campagna.

I sedimenti alterati della formazione sono caratterizzati da medio o medio basso grado di addensamento: possiedono basso peso dell'unità di volume, pari a $\gamma = 1.80 \div 1.85$ gr/cm³, e peso secco mediamente compreso tra 1.20 ed 1.30 gr/cm³; sono caratterizzati da elevato valore dell'indice dei vuoti, costantemente superiore all'unità e medio grado di saturazione.

Tali sedimenti risultano essere coesivi, presentando coesione in termini di tensioni efficaci, pari a $c' = 0.08 \div 0.15$ Kg/cm² e sono caratterizzati da valore dell'angolo di attrito interno variabile nell'intorno dei 18.0°.

I risultati di prove di compressibilità edometrica evidenziano valori esigui del modulo edometrico ($E_{ed} = 30.0 \div 50.0$ Kg/cm²) anche per intervalli di carico modesti ($0.5 < \sigma < 1.0$ Kg/cm²).

I sedimenti afferenti la parte integra della formazione evidenziano, di contro, apprezzabili caratteristiche fisico meccaniche: possiedono valore elevato del peso dell'unità di volume, pari a $\gamma = 1.95 \div 2.10 \text{ gr/cm}^3$ e sono caratterizzati da medio basso valore dell'indice dei vuoti ($e = 0.50 \div 0.70$), medio elevato grado di saturazione ($S_r = 8.00 \div 95.00 \%$), con contenuto naturale in acqua pari al $15.00 \div 25.00 \%$.

Essi risultano essere coesivi, presentando coesione in termini di tensioni efficaci pari a $c' = 0.20 \div 0.30 \text{ Kg/cm}^2$ e sono caratterizzati da valore dell'angolo di attrito interno variabile in un ristretto intorno di $\varphi = 20.0^\circ$.

Il valore della coesione non drenata risulta contenuto, nella media, in un range pari a $c_u = 1.00 \div 2.00 \text{ Kg/cm}^2$, con caratteristiche di scarsa compressibilità.

Sedimenti conglomeratici della formazione alluvionale di Loc. Pacevecchia [AAP]

Tali sedimenti sono da riferirsi ad una formazione conglomeratica costituita da elementi lapidei grossolani legati da una matrice prevalentemente limoso sabbiosa, nettamente subordinata, con alternanze di strati e/o banchi talora ad habitus francamente litoide, laddove gli elementi lapidei risultano legati da un cemento di natura carbonatica travertinoso.

Risulta opportuno premettere che nell'ambito di complessi geologici così caratterizzati non risulta possibile procedere al prelievo di campionatura in forma indisturbata e quindi all'esecuzione di prove di laboratorio; i parametri fisico meccanici di tali sedimenti, pertanto, possono essere esclusivamente desunti mediante correlazioni con i risultati di prove eseguite in sito, tra le quali le più comuni risultano essere le prove penetrometriche dinamiche standardizzate tipo *S.P.T.* (*Standard Penetration Test*), sebbene i risultati di dette correlazioni siano sempre caratterizzati da ampio margine di incertezza.

Le numerose prove *S.P.T.* eseguite nell'ambito di tali sedimenti, infatti, evidenziano un campo piuttosto disperso di valori; tale circostanza è imputabile, così come normalmente accade allorché tali prove vengono eseguite in seno a complessi geologici costituiti da componenti granulometriche eterogenee, alla casuale distribuzione ed alle dimensioni degli elementi granulometricamente più grossolani, anche nell'ambito degli strati più ricchi di matrice, più che ad una reale disomogeneità dei parametri geotecnici nell'ambito della stessa formazione geologica.

Tanto premesso è opportuno evidenziare che, nell'ambito della formazione innanzi descritta, può essere operata una grossolana suddivisione tra gli strati più superficiali, fino alla profondità di circa 4.00 m, dati da alternanze di limi sabbiosi e sabbie limose e caratterizzati da quasi totale assenza di frazione lapidea, e quelli più profondi, costituiti da una frazione lapidea percentualmente significativa, a volte preponderante, legata da una matrice limoso sabbiosa.

Le prove penetrometriche eseguite nell'ambito del primo gruppo di sedimenti (più superficiali) evidenziano in media valori di N_{SPT} compresi tra 12 e 18 colpi; ad essi può essere attribuito un Indice di Consistenza $I_c = 0.25 \div 0.50$ (solido-plastico), con peso dell'unità di volume non inferiore a $\gamma = 1.80 \div 1.90 \text{ gr/cm}^3$.

Il valore dell'angolo di attrito interno risulta mediamente compreso tra $24,0^\circ$ e $28,0^\circ$, con valore della coesione non drenata variabile tra $c' = 0,10 \text{ Kg/cm}^2 \div 0,30 \text{ Kg/cm}^2$.

I depositi conglomeratici a matrice limoso sabbiosa non cementati, di contro, evidenziano valori di N_{SPT} generalmente superiori a 30 colpi, variabili fino al "rifuto"; ad essi può essere attribuita una densità relativa $D_r = 0.60 \approx 0.80$, con peso dell'unità di volume non inferiore a $\gamma = 2.00 \approx 2.15 \text{ gr/cm}^3$.

Il valore dell'angolo di attrito interno è comunque non inferiore a $\varphi = 35.0^\circ$, con valore nullo della coesione.

I sedimenti conglomeratici in studio, infine, in relazione alle caratteristiche fisiche evidenziate, possono essere classificati a grande scala come “scarsamente compressibili”.

Sedimenti fluvio lacustri della formazione di San Giorgio [FLS]

Tali sedimenti sono costituiti da ghiaie mal stratificate immerse in una abbondante matrice sabbiosa di colore giallastro o rossastro; frequenti risultano le intercalazioni di sabbie grossolane e di livelli argilloso siltosi di colore grigiastro, spesso ricchi di sostanze organiche

I parametri fisico meccanici dei predetti sedimenti sono desunti sia da risultati di prove penetrometriche dinamiche standardizzate tipo *S.P.T.* (*Standard Penetration Test*) eseguite in sito che da analisi eseguite su campioni prelevati in forma indisturbata; in merito ai risultati delle prove penetrometriche dinamiche si rimarca quanto già innanzi evidenziato in ordine al margine di incertezza che caratterizza le stesse.

I risultati delle prove penetrometriche eseguite in seno a detta formazione, infatti, evidenziano valori di N_{SPT} piuttosto dispersi, compresi tra 8 e 20.

I valori più elevati di N_{SPT} , peraltro, vengono rilevati in corrispondenza degli strati più superficiali della formazione, a profondità comprese tra 3.00 m e 4.50 m, laddove i sedimenti presentano caratteristiche eminentemente granulari.

I sedimenti afferenti gli strati francamente sabbiosi sono, pertanto, da considerarsi come “mediamente addensati”, con densità relativa $Dr = 0.40 \div 0.60$; gli stessi sono caratterizzati da porosità prossima all'unità, da modesto grado di saturazione e da peso dell'unità di volume pari a $\gamma = 1.90 \div 1.95$ gr/cm³.

Il valore dell'angolo di attrito interno è mediamente compreso tra $27.0^\circ \div 30.0^\circ$, con valore della coesione molto contenuto che, ai fini geotecnici, può essere considerato nullo.

I risultati delle prove eseguite in corrispondenza di strati limoso sabbiosi o limoso argillosi, di contro, evidenziano caratteristiche di consistenza dei sedimenti variabili tra “*plastico*” e “*semisolido*”; in tale caso si osserva, in linea di massima, un graduale miglioramento delle caratteristiche fisiche di tali sedimenti all’aumentare della profondità.

Essi sono, pertanto, caratterizzati da indice di consistenza I_c mediamente compreso tra 0.25 e 0.75, con valore della coesione non drenata analogamente variabile in un range piuttosto ampio, compreso tra $c_u = 0.30 \div 1.50 \text{ Kg/cm}^2$ (in funzione, anche, del maggiore o minore contenuto in frazione sabbiosa); il peso dell’unità di volume risulta mediamente pari a $\gamma = 1.85 \div 1.95 \text{ gr/cm}^3$; l’indice dei vuoti presenta, nella norma, valore inferiore ad 1.00.

Le caratteristiche meccaniche in termini di tensioni efficaci fanno registrare valori nella norma delle argille debolmente sovraconsolidate, con angolo di attrito interno variabile nell’intorno di $\phi = 20.0^\circ$ e coesione non drenata $c' = 0.10 \text{ Kg/cm}^2$ o moderatamente superiore negli strati a minor contenuto in frazione sabbiosa.

I moduli edometrici testimoniano ulteriormente lo stato di moderata sovraconsolidazione che caratterizza detti sedimenti, evidenziando valori apprezzabili anche sotto modeste sollecitazioni assiali, in particolare procedendo in profondità, laddove aumenta il grado di sovraconsolidazione per aumento del carico litostatico.

Anche prove eseguite in sito in corrispondenza di detti strati caratterizzati da maggior contenuto in frazione granulometrica “*fine*” (limi ed argille) con l’ausilio di *poket penetrometer* sulle carote di terreno appena estratte, evidenziano valori medi pari a $\tau = 3.00 \div 4.50 \text{ Kg/cm}^2$, in buon accordo con i risultati delle prove penetrometriche dinamiche.

Depositi alluvionali antichi di Loc. Cretarossa [AAC]

Tali sedimenti sono da riferirsi ad un deposito, il cui spessore dovrebbe raggiungere i 20 m circa, costituito da argille siltose e/o sabbiose generalmente compatte, con inclusione di ciottoli eterometrici i quali presentano spesso patine manganesifere e limonitiche, alternate a livelli sabbiosi irregolari e rari livelli ghiaiosi ricchi di matrice sabbiosa; frequenti risultano essere i resti organici.

Le caratteristiche fisico meccaniche dei predetti sedimenti sono desunte da indagini di laboratorio esperite su campioni prelevati in forma indisturbata.

Dall'analisi di detti risultati, si verifica che è riscontrabile una certa differenziazione nei valori dei parametri geotecnici tra i campioni afferenti gli strati più superficiali e quelli prelevati a quote maggiori, con un generale, seppure poco accentuato, incremento dei valori procedendo con la profondità.

I sedimenti della formazione fluvio-lacustre possiedono peso specifico dei grani compreso tra 2.60 e 2.85 gr/cm³, con valore medio del peso dell'unità di volume, pari a $\gamma = 1.60 \div 1.95$ gr/cm³, con i valori più bassi che competono ai campioni più superficiali; il peso secco risulta analogamente compreso tra 1.25 ed 1.65 gr/cm³.

Sono caratterizzati da medio elevato valore dell'indice dei vuoti, lievemente superiore all'unità per i campioni più superficiali, compreso tra 0.70 e 0.95 per i campioni più profondi, e medio grado di saturazione ($S_r = 77.00 \div 96.00$ %); negli strati a componente eminentemente sabbiosa, di contro, si rileva un grado di saturazione mediamente compreso nell'intorno del 55.00 %.

Tutti i sedimenti analizzati risultano essere poco coesivi, presentando coesione in termini di tensioni efficaci (da prove di taglio diretto tipo CD) pari a $c' = 0.050$ Kg/cm² per i campioni più superficiali e pari a $c' =$

0.10 ÷ 0.20 Kg/cm² per i campioni più profondi; il valore dell'angolo di attrito interno è compreso tra i 19.0° ed i 23.0°.

Anche in tal caso, campioni litologicamente definiti come “sabbia con limo” mostrano, a fronte di un trascurabile valore della coesione non drenata, valore dell'angolo di attrito interno notevolmente più elevato, pari o anche superiore a $\varphi = 28.0^\circ$.

Le prove di taglio diretto tipo UU eseguite, evidenziano valori della coesione non drenata compresi in un range pari a $c_u = 0.45 \div 0.95$ Kg/cm², con il valore più basso che competono ai campioni prelevati a minore profondità.

Prove di compressione edometrica eseguite su campioni prelevati durante l'esecuzione di indagini in sito, evidenziano risultati che permettono di classificare i sedimenti in oggetto come mediamente compressibili e poco sovraconsolidati ($E_{ed} = 70.00 \div 80.00$ Kg/cm² per il range di pressioni assiali $1.00 < \sigma \leq 2.00$ Kg/cm²).

Granulometricamente i sedimenti analizzati rientrano nella classe del limo, con variabile contenuto in frazione sabbiosa (16.00 ÷ 40.00 %) ed argillosa (0.00 ÷ 40.00 %).

Depositi alluvionali terrazzati [A12]

Tali depositi corrispondono a lembi residuali di terrazzi alluvionali ubicati ad una quota di circa 20 m superiore all'attuale alveo dei Fiumi Sabato e Calore; sono essenzialmente costituiti da ghiaie eterometriche alternate a livelli sabbiosi lenticolari e rari livelli siltosi e siltoso argillosi.

Ai fini geotecnici, i sedimenti alluvionali terrazzati possono essere suddivisi in tre fasce a caratteristiche sensibilmente differenti; la prima comprende i terreni alluvionali distali frammisti a prodotti piroclastici residuali pedogenizzati, caratterizzati da spessori molto contenuti, la seconda

è costituita dai sedimenti alluvionali allo stato sciolto, la terza dai sedimenti ancora di natura alluvionale ma a struttura conglomeratica.

Le caratteristiche fisico meccaniche dei sedimenti afferenti la fascia più superficiale della formazione possono essere assimilate a quelle dei depositi di versante misti piroclastici ed eluvio-colluviali, per le quali si rimanda al relativo paragrafo.

La caratterizzazione dei sottostanti depositi alluvionali sabbioso ciottolosi allo stato sciolto è effettuata mediante esecuzione di prove penetrometriche dinamiche *S.P.T.*: i risultati di dette prove evidenziano valori di N_{SPT} generalmente compresi tra 20 e 30 colpi negli strati più superficiali, fino a raggiungere il rifiuto negli strati più profondi; sulla scorta di tali valori, ai sedimenti in oggetto può essere attribuita - operando a vantaggio di sicurezza - una densità relativa non inferiore a $Dr = 0.40 \div 0.60$ con peso dell'unità di volume pari a $\gamma = 1.95 \div 2.05 \text{ gr/cm}^3$.

Il valore dell'angolo di attrito interno risulta non inferiore a $\varphi = 27,0 \div 30,0^\circ$ con valore nullo della coesione.

I sottostanti sedimenti a struttura conglomeratica non cementati, infine, mostrano valori di N_{SPT} generalmente superiori a 50 colpi; ad essi, pertanto, può essere attribuita una densità relativa $Dr = 0.60 \div 0.80$, con peso dell'unità di volume non inferiore a $\gamma = 2.00 \div 2.15 \text{ gr/cm}^3$.

Il valore dell'angolo di attrito interno è comunque non inferiore a $\varphi = 40.0^\circ$, con valore nullo della coesione.

Depositi alluvionali attuali e recenti [A11]

Costituiscono le alluvioni attuali e recenti dei due fiumi principali (*Sabato* e *Calore*) nonché delle maggiori incisioni torrentizie (*San Nicola* e *Serretelle*) e sono dati da sabbie e ghiaie allo stato sciolto, con variabile coda siltosa.

I risultati di prove penetrometriche dinamiche eseguite in seno ai predetti depositi alluvionali evidenziano valori di N_{SPT} generalmente compresi tra 12 e 18; a detti sedimenti può, pertanto, essere attribuito un valore della densità relativa medio pari a $D_r = 0.40 \approx 0.60$.

Essi, inoltre, evidenziano un valore del peso specifico dei grani variabile in un ristretto intorno di $G_t = 2.70 \text{ gr/cm}^3$; analogamente il peso dell'unità di volume risulta generalmente piuttosto elevato, compreso tra $\gamma = 1.80 \text{ gr/cm}^3$ e $\gamma = 1.95 \text{ gr/cm}^3$.

Il valore dell'angolo di attrito interno risulta cautelativamente compreso tra $24.0^\circ \leq \varphi \leq 27.0^\circ$, con valori anche superiori in corrispondenza di strati maggiormente addensati; il valore della coesione è sempre estremamente contenuto.

Depositi di versante misti da debris-flow e colluviali [Dc]

Depositi di versante misti piroclastici ed eluvio-colluviali [Dp]

Per quanto riguarda le coltri di copertura eluvio-colluviali ed i depositi di versante con frammisti prodotti piroclastici residuali, gli stessi sono caratterizzati da basso o medio basso grado di consistenza, elevata porosità e medio basso peso di volume naturale; sono, inoltre, sempre caratterizzati da elevata compressibilità.

Dal punto di vista geomeccanico, sono dotati di coesione contenuta e medio basso valore dell'angolo di attrito interno.

Granulometricamente presentano accentuata eterogeneità: i fusi granulometrici, comunque, rientrano generalmente nelle norma dei limi, con variabili percentuali in sabbia ed argilla, quest'ultima sempre fortemente subordinata.

I valori numerici delle caratteristiche fisico meccaniche risultano essere piuttosto dispersi, funzione anche della percentuale di prodotti piroclastici frammisti nell'insieme e del grado di pedogenizzazione ed

argillificazione degli stessi; si riportano di seguito sinteticamente riassunte le caratteristiche fisico meccaniche medie di tali sedimenti, desunte da prove penetrometriche eseguite in sito e da risultati di prove di laboratorio effettuate su campioni indisturbati prelevati durante l'esecuzione di indagini geognostiche:

<input checked="" type="checkbox"/> <i>Peso di volume naturale</i>	$\gamma = 1.70 \div 1.85 \text{ gr/cm}^3$
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Indice dei vuoti</i>	$e = 0.70 \div 1.00$
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Coesione</i>	$c = 0.05 \div 0.25 \text{ Kg/cm}^2$
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Angolo Attrito Interno</i>	$\varphi = 20.0 \div 25.0^\circ$
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Modulo Edometrico [0.5 < σ < 1.0 Kg/cm²]</i>	$E_{ed} = 25.0 \div 35.0 \text{ Kg/cm}^2$

7. Il Territorio: Caratteristiche di Risposta Sismica

7.1 Sismicità Storica

L'Appennino Campano rappresenta una delle zone a più alta sismicità della penisola italiana, chiara evidenza che i processi tettonici che hanno modellato la catena sono tutt'ora in atto.

La valutazione della dinamica recente è necessariamente connessa in modo stretto con la sismicità storica, in quanto consente di conoscere il livello di pericolosità di un'area: una maggiore attività sismica indica, evidentemente, una maggiore dinamica e quindi una pericolosità più elevata.

L'area beneventana è stata interessata in passato da numerosi sismi di forte intensità, così come evincibile dai dati riportati nelle varie pubblicazioni consultate ai fini del presente studio, fra le quali si citano:

- *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI, 2004)*
- *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 al 1990 (ING e SGA)*
- *Catalogo dei forti terremoti in Italia (CFTI3, 2000)*
- *Catalogo Strumentale dei Terremoti Italiani 1981-1996 (CSTI, 2001)*
- *Un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno (GNDT, 1997)*
- *Catalogo della sismicità italiana 1981 - 2002 (CSI)*

L'analisi comparata dei *data-base* allegati a dette pubblicazioni, ha consentito di ricostruire sinteticamente la storia sismica dell'area beneventana, riassunta nelle allegate tabelle 5 e 6: nella prima (*Tabella 5*) vengono riportati in modo cronologico i più forti terremoti che hanno interessato l'area a partire dall'anno 99 (primo dato storico riscontrabile) e fino all'anno 1000; nella tabella vengono anche riportate l'individuazione dell'area epicentrale ed una stima dell'intensità sismica e della magnitudo dell'evento.

CATALOGO CRONOLOGICO DEGLI EVENTI SISMICI DI FORTE INTENSITÀ CHE HANNO INTERESSATO LA CITTÀ DI BENEVENTO DALL'ANNO 99 ALL'ANNO 1000				
Data Evento	Area Epicentrale	Intensità Sismica Io	Magnitudo Ms	Intensità Sismica Ibn
Anno 99	Circello	9,5	6,30	****
Anno 346	Sannio	9,0	6,00	****
Anno 375	Benevento	9,0	6,00	****
Giugno 848	Sannio	9,5	6,00	****
25 ottobre 989	Irpinia	9,5	6,00	****

Tabella 5 – Catalogo Cronologico degli eventi sismici dall'anno 99 all'anno 1000

In *Tabella 6*, di contro, vengono riportati gli eventi sismici occorsi dall'anno 1000 al 2002 con $I_{bn} \geq 5,00$, indicati in ordine decrescente; ai fini della comprensione di tale elaborato si precisa che:

- a) "data evento" indica, evidentemente, la data in cui è occorso l'evento sismico;
- b) "area epicentrale" indica, evidentemente, l'area epicentrale dell'evento;
- c) "intensità sismica Io" indica l'intensità sismica supposta o misurata nell'area epicentrale, espressa secondo la scala MCS (*Mercalli-Cancani-Sieberg*);
- d) "magnitudo Ms" indica il valore della magnitudo supposta o misurata nella zona epicentrale dell'evento;
- e) "intensità sismica Ibn" indica l'intensità sismica supposta o misurata in corrispondenza della città di Benevento per l'evento relativo, espressa secondo la scala MCS.

Nella citata tabella non vengono riportati, come già innanzi accennato gli eventi sismici con intensità avvertita nella città di Benevento inferiore a $I_{bn} = 5,00$.

EVENTI SISMICI CHE HANNO INTERESSATO LA CITTÀ DI BENEVENTO CON INTENSITÀ SISMICA $I_{bn} \geq 5,00$ A PARTIRE DALL'ANNO 1000				
Data Evento	Area Epicentrale	Intensità Sismica I_o	Magnitudo Ms	Intensità Sismica I_{bn}
05 giugno 1688	Matese	11,0	7,30	10,0
14 marzo 1702	Sannio-Irpinia	10,0	6,40	9,5
29 novembre 1732	Irpinia	10,0	6,40	9,0
05 dicembre 1456	Molise	11,0	6,70	8,5
11 ottobre 1125	Benevento	8,0	5,50	8,0
23 luglio 1930	Irpinia	10,0	6,70	8,0
17 settembre 1885	Benevento	7,0	4,80	7,0
08 settembre 1694	Calitri	11,0	7,00	6,5
14 marzo 1905	Beneventano	6,5	4,70	6,5
21 agosto 1962	Sannio	9,0	6,20	6,5
02 aprile 1702	Beneventano	6,5	4,60	6,5
06 aprile 1702	Beneventano	6,5	4,60	6,5
14 gennaio 1703	App. Umbro	11,0	6,70	6,5
26 luglio 1805	Molise	10,0	6,60	6,5
23 novembre 1980	Irpinia	10,0	6,90	6,0
22 gennaio 1139	Benevento	5,5	4,20	5,5
06 dicembre 1875	S. Marco in L.	8,0	5,20	5,5
25 maggio 1927	Cerreto	6,5	4,80	5,5
19 agosto 1561	Vallo di Diano	10,0	6,40	5,0
30 luglio 1627	Capitanata	11,0	7,00	5,0
26 novembre 1905	Irpinia	7,5	5,10	5,0
07 giugno 1910	Calitri	9,0	5,90	5,0
04 ottobre 1913	Matese	8,0	5,20	5,0
13 gennaio 1915	Avezzano	11,0	7,0	5,0

Tabella 6 - Catalogo Cronologico degli eventi sismici a partire dall'anno 1000

Ai fini di una sommaria ricostruzione storica dei più significativi eventi sismici che hanno colpito l'area beneventana, si fa riferimento al testo *"I Terremoti di Benevento e loro cause"* [Comm. Prof. Fratel Venanzio Vari – Benevento – Cooperativa Tipografi – Chiostro S. Sofia – 1927] che può essere considerato il più completo – se non l'unico – catalogo sistematico con dati e notizie più o meno certe, nonché richiami a cronache redatte da altri autori vissuti in epoche coeve all'evento descritto.

Si evidenziano, tuttavia, alcune discrepanze tra quanto descritto nel citato testo e quanto riportato nei recenti cataloghi parametrici, dovuto all'ovvio maggior rigore scientifico di questi ultimi, i quali riconoscono il singolo evento sismico occorso solo in presenza di dati – seppure puramente qualitativi – certi ed attendibili.

Il primo evento sismico di cui si abbia memoria storica è indicato dal Vari in data 21 luglio dell'anno 369: *"il terremoto apportò alla città tale estermio che niente rimase che fracassato non fosse"*.

Un secondo evento significativo è riportato nell'anno 847: *"Nella regione beneventana caddero e rovinarono dalle fondamenta molti edifici, con la morte d'innunerevoli uomini"*; Il Bella Bona [Bella Bona – Ragguagli della città d'Avellino – Trani – 1656] così lo descrive: *"li 847 fu un grandissimo terremoto in tutta la regione beneventana. molte case dalli fondamenti si diroccarono, et uomini morirono; in Napoli molti fuochi furono veduti di notte; fu una grande carestia...."*; segue la descrizione di una serie di eventi soprannaturali e scene paurose fuse tra religione e superstizione (piogge di fuoco, comete, locuste, carestie...) che comunemente compaiono in cronache d'epoca che descrivono eventi che colpiscono l'immaginario popolare e dei quali non sono conosciute le cause.

Leone Ostiense [Leone Ostiense – *Chronica Monasterii Casinensis*– 1100 ca] scrive che *"in tutta la regione di Benevento avvenne un gran terremoto: tanto che Isernia fu interamente distrutta dalle fondamenta e moltissimi, tra i quali lo stesso Vescovo, vi trovarono la morte"*; egli, tuttavia, non fa espliciti cenni alla città di

Benevento, pertanto si può ritenere che il danneggiamento della stessa sia probabilmente stato lieve.

Nell'anno 981 un altro terremoto colpì Capua e Benevento; il Morigia [Paolo Morigia – *Sommario Chronologico* - 1592] così descrive l'evento: *“una gran cometa in quei tempi apparve nell'Italia, e poco dopo seguirono terremoti grandi, dove che le città di Benevento e di Capua furono in tal maniera percosse che quasi andarono a terra, e la carestia e la peste levò la vita a molte centinaia d'anime”*.

Il quarto terremoto di cui si trova traccia nel testo del Vari occorre nell'anno 986 secondo lo storico Mario Della Vipera [Mario Della Vipera – *Cronologia de' Vescovi Beneventani* – 1635 ca] *“nell'anno 986 la città di Benevento fu turbata da una grande scossa, rovinata straordinariamente, e tra le altre cose il terremoto atterrò la Vipera e rovesciò 15 torri e molti rimasero schiacciati”*.

Altri storici, invece, fissano l'evento nell'anno 990 e precisamente il giorno 15 ottobre; in ogni caso risultano concordi le notizie in ordine alla forte entità del sisma: *“questo terremoto fé cadere 15 solidissime torri, sotto le quali restarono oppresse 150 persone, ed abbattè una grande colonna, sulla cima della quale vi era un simulacro di vipera, eretta presso l'antica Porta Rufina, nella contrada detta vico della serpe”*.

Un ulteriore evento sismico è segnalato il giorno 19 aprile dell'anno 1044, alle ore 18 circa, che colpì il Principato di Salerno e di Benevento, ed altri due nei giorni 14 e 18 gennaio dell'anno 1094: *“le scosse furono tali che alla città arrecarono estremi guasti”*.

Dopo circa trenta anni un altro evento sismico, secondo lo storico V. Magnati [V. Magnati – *Notizie storiche dé terremoti* – 1688], colpisce Benevento: *“l'11 ottobre 1125 la città di Benevento fu nuovamente visitata con tali scosse quali mai si erano sentite per lo innanzi. Le scosse cominciarono la notte dell'11 e durarono per ben 20 giorni continui. Le mura della città vennero pareggiate al suolo, le torri e gli altri edifici rovinati per guisa da non essere più abitabili e la maggior parte interamente distrutti. I cittadini, smarriti per sì raddoppiato tremore, altro non*

aspettavano che la morte per non sapere, a sì inaspettato flagello, trovare scampo alcuno, poiché vedevano le torri, i palagi e gli edifici tutti incessantemente scuotersi e cadere, le mura delle città precipitare sopra le case ed abatterle, la terra terribilmente aprirsi ed i sassi spezzarsi. Lande atterriti e come insensati corsero alle chiese a supplicare il divino aiuto”.

Di tale disastro ne è testimone diretto *Falcone Beneventano* che nel suo “*Chronicon*” scrive: *“nell’anno 1125 dell’incarnazione del Signore ... nell’undicesima notte di ottobre, un nuovo e terribile terremoto avvenne in Benevento.... In quella notte, essendo noi tutti immersi nel sonno ristoratore, all’improvviso fummo scossi da un inaudito terremoto, e tutti aspettavamo atterriti, da un momento all’altro, la morte..... Lo scuotimento fu tale che le torri, i palazzi e gli edifici tutti visibilmente tremavano, la terra in più parti si aprì e i sassi, per la violenza dell’urto, si spezzarono. Le mura della città precipitando sugli edifici sottostanti li atterrarono, radendoli al suolo.... Le scosse nella notte furono tre a detta di alcuni, mentre altri affermarono di averne sentite quattro. Verso mezzodì vi fu un’altra scossa e così spaventosa, che se tu, o lettore, fossi stato presente, avresti veduto co’ tuoi occhi tremare tutti gli edifici e ti saresti sentita uscire l’anima dallo spavento.... Quindici giorni ed altrettante notti durò l’infuriare del rovinoso terremoto”.*

Alcuni autori, tra cui *Falcone Beneventano* riportano un altro terremoto il giorno 22 gennaio dell’anno 1139; altri, come *Mario Della Vipera*, lo riportano nello stesso giorno ma dell’anno 1138: *“nell’anno 1138, il 22 gennaio, la città di Benevento fu afflitta da un così forte terremoto che le case sembravano crollare”*; un ulteriore evento sismico è segnalato nell’anno 1152.

Dopo un silenzio di circa tre secoli, nell’anno 1456 Benevento fu ancora interessata da un terremoto disastroso: gli eventi segnalati risultano essere due, il giorno 5 ed il giorno 30 del mese di dicembre, ma sembra più attendibile considerare la prima data come quella relativa all’evento che provocò i maggiori danni: *“Ai 5 di dicembre, dunque, dalle ore 10 alle 11 della*

notte precedente la domenica, dopo un periodo di abbondanti piogge durato ben 50 giorni, tanto che non si era potuto seminare, avvenne in Benevento l'orribile terremoto, che rase al suolo 500 edifici. Le scosse durarono un decimo di ora, ed erano accompagnate da un sordo e prolungato rumore, simile al tuono. La città potabilissima, dove era

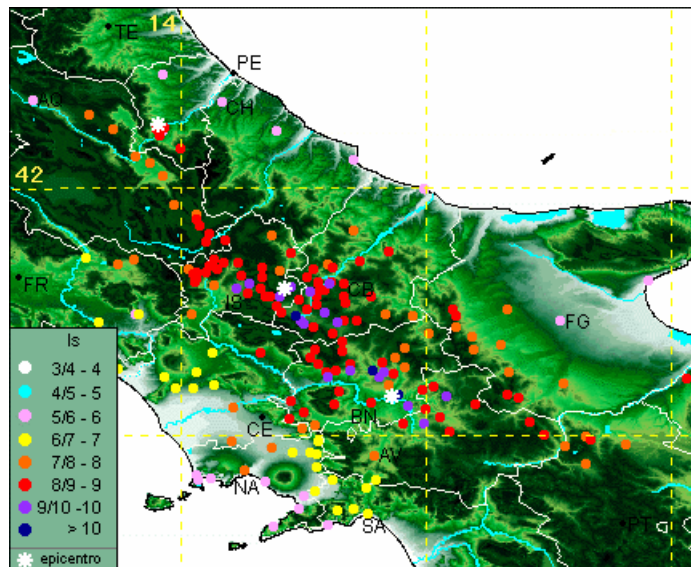


Figura 1 – Mappa dell'Intensità Sismica - Terremoto del 5 dicembre 1456 (Fonte: DOM4.1 / INGV – GNDT)

Arcivescovo Mons. Iacopo della Ratta, fu distrutta quasi per intero”.

Le cronache indicano in 350 il numero delle vittime in città, relativamente poche in confronto a quelle registrate nei paesi limitrofi (Paduli 1033, Apice 1020) nonché nella zone dell'avellinese (Ariano Irpino 1313), del basso Molise (Isernia 1200, Boiano 1300, che “fu affatto estinta e poi convertita in lago”) e nel napoletano (nella sola città di Napoli il numero delle vittime si fa ascendere addirittura a 20.000).

L'evento, comunque, classificato come il più forte sisma che in epoca storica abbia colpito l'Italia meridionale ($M_s = 7.5$) fu certamente molto intenso, e le antiche memorie parlano di città inghiottite, di montagne spaccate, di formazione di laghi, di fratture aperte nel terreno esalanti vapori e gas pestilenziali; il totale complessivo delle vittime prodotte da questo terremoto assomma – secondo il *Cardinale Piccolomini* – complessivamente a 60.000, secondo altri autori a circa 70.000.

Dopo soli 10 anni un altro evento colpisce il sannio, con strabiliante precisione lo stesso giorno 5 dicembre dell'anno 1466, sempre alle ore 11 di sera, tanto che il *Marcello Bonito* [*Marcello Bonito – Della Terra Tremante – 1691*] scrive, con buona dose di ironia: *“Piaceva forse a’ terremoti la suavità dell’aria del nostro Regno, mentre così spesso vi venivano a trastullarsi, e li pareva duro partirsene. Sempre simile assistenza fu rovinosa e funesta a’ popoli. Nell’anno 1466, eccoli di nuovo insolentire nell’istesso giorno de’ 5 dicembre alla medesima hora undeci di notte, come insorsero gli altri dieci anni addietro”*.

Il terremoto è chiaramente avvertito nell’intero Regno di Napoli, in Puglia ed a Benevento, laddove *“avvenne un così forte terremoto che le chiese, i palazzi e molti altri edifizi rovinarono facendo strage di viventi”*.

Dopo circa cento anni di silenzio, il 31 luglio dell'anno 1561, di giovedì, ancora una volta tra le ore 23 e le ore 24, un altro forte evento sismico colpisce il Regno di Napoli e la città di Benevento, che, nelle cronache di *Mario della Vipera* viene così descritto: *“Nell’anno 1561, nell’ultimo giorno di luglio, alle ore 24, la terra fu scossa, non solo in Benevento, ma anche nelle vicine Provincie, con grandissimo generale spavento”*.

Le cronache narrano anche di un colle ricoperto da vigneti che, in Basilicata, viene “trasportato” per intero alla distanza di tre miglia, tanto che *“si accese lite ne’ Tribunali, tra i possessori di quel terreno, col Fisco Regio, se dovessero corrispondere i pagamenti fiscali, ove prima stava situato, oppure nel luogo in cui fu trasferito”* [*Athanasius Kircher – Mundus Subterraneus – 1664*].

Il tredicesimo evento significativo che colpisce Benevento si registra il giorno 30 luglio dell'anno 1627, alle ore 17 circa e viene così descritto da *Mario Della Vipera* : *“nell’anno 1627, venerdì, 30 di luglio, alle ore 17 circa, in Benevento, con brandissimo spavento di tutti, la terra fu talmente scossa che quasi in tutto il turbato regno, grandissima parte della Puglia, fu rovinata, gettata nel lutto, prostrata”*.

Si registrano numerose repliche, in particolare nei giorni 8, 9 e 24 di agosto ed una ulteriore forte scossa il giorno 6 settembre: tali ultime scosse “...furono precedute da orribile tempesta di tuoni, fulmini e pioggia, con grandine grossissima e numerosissima, che dicesi per vera relazione esser pesato uno grano undeci in dodici oncie, rovinò quello che di nuovo havevano incominciato le genti a riparare.... Le piante né luoghi devastati dalla grandine furono per tal modo lacerate che per molti anni non diedero più frutti. Il mare Adriatico, presso la foce del Fortore e presso S. Nicandro, si ritirò per due miglia, ed indi uscì altrettanto da' suoi confini. I pozzi per la forza del terremoto hanno buttato l'acqua fora....”.

Erano trascorsi solo 32 anni dalla peste del 1656, che aveva ridotto gli abitanti di Benevento da 18.000 a soli 8.000 circa, quando il giorno 5 giugno dell'anno 1688 uno dei più forti terremoti che, in epoca storica, ha colpito l'Italia ed, in particolare, l'area sannita, distrugge quasi completamente la città.

L'evento fu caratterizzato da $I_0 = 11$, cui corrisponde una magnitudo $M_s \approx 6,72$; l'epicentro viene individuato a NNE di Benevento, ad una distanza di circa 40 Km, nell'ambito dell'area sismica del *Matese*; in città l'intensità sismica è stimata pari ad $I_{bn} = 10$.

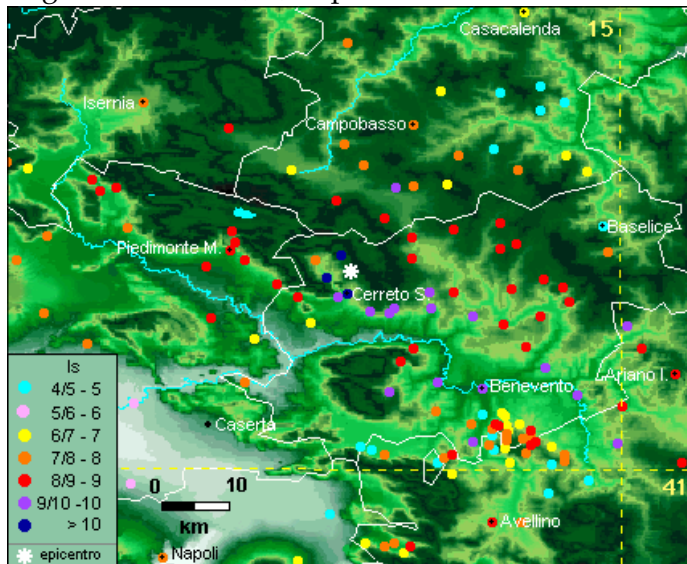


Figura 2 – Mappa dell'Intensità Sismica - Terremoto del 5 giugno 1688 (Fonte: DOM4.1 / INGV – GNDT)

Le cronache narrano che una serie di scosse sismiche vennero avvertite in città sin dal mese di febbraio dello stesso anno e che si registrarono una

serie di segni premonitori, alcuni di natura evidentemente suggestiva, altri più attendibili.

“Erano appena suonate le 20 di sabato 5 giugno, vigilia di Pentecoste, quando la terra tremò, e terribilmente si scosse dal basso all’alto, di vertigine e di ondulazione. Dopo mezz’ora, alla scossa violentissima seguì una replica di maggiore intensità che commosse la terra per la durata di un Miserere. Chi si trovava fuori dalla città sentì il rumore delle case cadenti, poi vide innalzarsi una nuvola di polvere, e questa svanita per il vento, che impetuoso cominciò a spirare, vide la città ridotta un mucchio, una catasta, e una massa di pietre mal composte, e di altri materiali tutti ridotti in frantumi, et in minuzzoli tutti guasti, e consumati. La scossa fu così violenta che per agitazione della terra abbagliatosi gli occhi, perdute le forze corporali, gli uomini non potevano reggersi all’impiedi, altri cascavano nelle loro abitazioni, altri per le pubbliche strade bocconi mezzo stolidi. Gli edifici non se ne stavano: si osservavano piegarsi, e dibattersi da’ fondamenti, e violentemente agitarsi.... In Benevento, salvo poche case, neppure le strade si distinguevano, perché ricoperte dalle macerie. Cumuli di rovine e di calcinacci si vedevano ovunque. Sotto le macerie restarono schiacciati e morti 1367 cittadini e 200 e più forestiere che si trovavano a Benevento.... I superstiti si vedevano errare inebetiti, smarriti, e incresparsi e cadere tra i rottami, ed accecati dalla polvere uscire feriti dalle rovine ed arrampicarsi per i monti di frantumi. Altri si recavano solleciti a rintracciare i parenti, gli amici: trovatili semiovivi, lavoravano per trarli dai rottami, o rinvenuti estinti rimanevano impietriti gettando grida disperate. Il caso più miserabile fu, ... che dopo di aver fatto perdita di case, di congiunti, e di ogni sorte di beni, si aggiunsero li ladronecci di gente malvagia, e perversa, che la notte istessa entrò a predare gli miseri avanzi di quelle rovine, e disastroso accidente.... Il sole diede pure li suoi segni, essendo veduto alquanto oscurato, e circondato da’ cerchi vermigli. L’acque in alcuni luoghi perduta la loro natural chiarezza si ritirarono da loro fonti; et in altri luoghi crescere sopra abbondantemente et esalare qualche fetore, e puzzolenza poco grata al palato”.

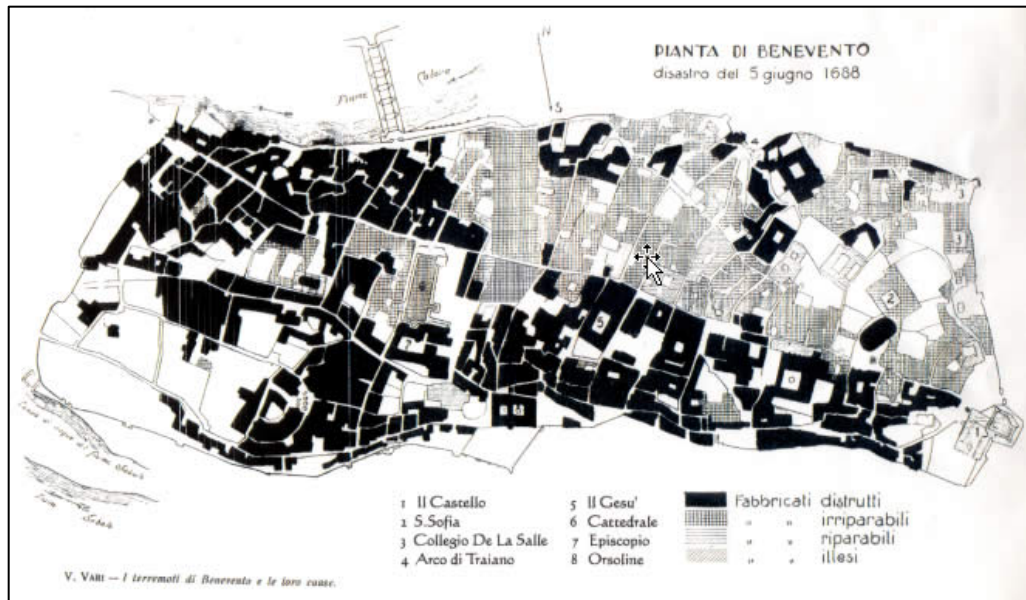


Figura 3 – da V. Vari – I terremoti di Benevento e loro cause - 1927

La città di Benevento venne quasi totalmente distrutta dal sisma; un resoconto dettagliato dei danni subiti dai maggiori edifici pubblici e di culto della città si ritrova, unitamente al dettaglio delle vittime suddivise per parrocchia, in un resoconto dell'Abate *Pompeo Sarnelli* redatto in data 2 luglio 1688: *"Nella Metropolitana fe' cadere tutta la crociera, il coro, le sagrestie.... Il campanile è restato intatto.... L'episcopio è rovinato quasi tutto.... È caduta la Basilica di San Bartolomeo.... Rovinò la Chiesa di San Pietro.... Cadde la nostra vecchia e profanata Chiesa di Santo Spirito e rovinò quella di S. Maria di Costantinopoli.... Le altre Chiese della città rovinarono; e la città stessa in un momento divenne un monumento per tanti morti sì cittadini, sì forestieri, ch'eran concorsi.... Dalla parte del Sabato resta la città spianata e ne pianse il fiume Sabato, veduto uscir, come per gran dolore, dal suo letto; dalla parte di Calore vi sono delle case, ma conquassate, che han bisogno o di gran riparazione o di essere sgravate dagli appartamenti superiori"*.

Le cronache narrano ancora di gravissimi danni agli abitati limitrofi inclusi nella Diocesi, alcuni completamente distrutti, come Apice, Casalduni, Castelpoto, Cerreto Sannita (4000 morti su 8.000 abitanti), Fragneto Manforte, Guardia Sanframondi, Paduli, Pietraroja (400 morti), San Lorenzo Maggiore (300 morti), San Lorenzo Minore (600 morti su 1.000 abitanti), Sassinoro.

Dopo appena 14 anni dal distruttivo terremoto del 1688, Benevento fu colpita da un altro evento sismico, sebbene di intensità inferiore rispetto al primo: le cronache narrano che una prima forte scossa si avvertì alle ore 11 circa del giorno 14 marzo 1702, a seguito delle quale tutta la popolazione si riversò nelle strade e nelle campagne; dopo circa un quarto d'ora dalla prima scossa se ne avvertirono altre due, più lievi, ed una terza fortissima che determinò gravi danni alla città.

La storia di tale evento sismico fu narrata da numerosi autori dell'epoca, ma anche in tal caso, come nel 1688, le cronache più dettagliate e circostanziate sono da attribuire al *Cardinale Orsini* che così descrive l'evento: *"Sonate le 11 ore del detto giorno si sentì la prima fierissima scossa della terra, ed i Cittadini intimoriti se ne uscirono la maggior parte dalle case, che riconobbero (cessato lo scuotimento) offese notabilmente. Dopo un*



Figura 4 – Mappa dell’Intensità Sismica - Terremoto del 14 marzo 1702 (Fonte: DOM4.1 / INGV – GNDD)

quanto di ora, o poco più, crollò nuovamente la terra con maggiore scossa; onde rimasero diroccate in maniera lacrimevole le fabbriche, con somma costernazione degli animi di tutti. Non furono numerosi gli estinti sotto le pietre, come nel 1688; perché la maggior parte si sottrasse dal pericolo al primo avviso; ed essendo nel presente anno il numero degli abitanti di 8.356; non perirono tra maschi, e femmine, che 150 in tutte le otto parrocchie ...”; segue, con la solita dovizia di particolari, l’elenco delle vittime per ogni singola Parrocchia ed una dettagliata stima dei danni subiti sia dagli edifici di culto da altri edifici ed opere pubbliche: “.... In quanto a’ pubblici edifizii, il Castello o Rocca è restato diviso in gran parte per lo mezzo e sprofondati tutti i volti Il palazzo di Mons. Governatore è in parte sfondato, il resto tutto aperto, e trinciato. Il Palazzo del Magistrato è in due lati aperto in maniera, che attualmente si abbatte, per non far rovinare affatto la Chiesa del Carmine Le muraglie della città in più, e varie parti, rovesciate, in altre debitate, o uscite da’ loro sestii. Dei cinque ponti fuori delle mura, tre hanno patito; quello detto di S. Maria Degli Angeli, si mantiene sostenuto per la forma, che vi si trova sotto, altrimenti sarebbe finito di cadere; l’altro, detto il Lebbroso, rimane pregiudicato per questo nuovo accidente; ed il terzo, detto di Calore, offeso in qualche altra parte. Le abitazioni private de’ Cittadini, massimamente nella regione meridionale, sono moltissime diroccate, molte altre aperte in modo, che dovranno abbattersi; e le rimanenti con gravi lesioni, ma con tante rovine”.

Dalle cronache, comunque, emerge una città gravemente danneggiata, ed il relativamente basso numero di vittime è da imputare alla circostanza che gran parte della popolazione era già fuori dalle abitazioni nel momento della terza e più distruttiva scossa; è importante, inoltre, sottolineare come tutte le cronache siano concordi nell’affermare che i maggiori danni all’abitato si registrarono nella zona del Fiume Sabato, mentre relativamente meno colpita risultò la zona a nord e la fascia verso est.

Il terremoto del 14 marzo 1702 è stato l'ultimo evento distruttivo e con elevato numero di vittime che ha colpito la città di Benevento; i successivi eventi, infatti, fanno registrare prevalentemente danni materiali.

Il giorno 29 novembre 1732, alle ore 13.30 circa, un nuovo forte evento sismico si registra nell'area avellinese, laddove provoca 1940 morti e quasi altrettanti feriti; da una relazione anonima dell'epoca si legge che “la

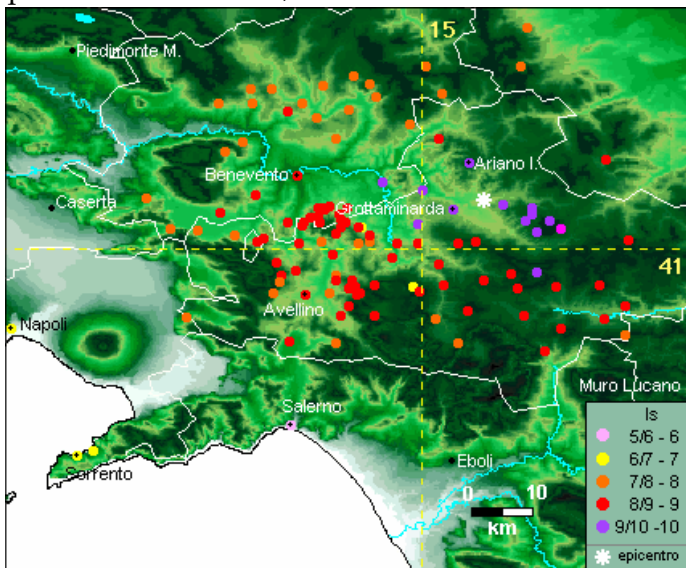


Figura 5 – Mappa dell’Intensità Sismica - Terremoto del 29 novembre 1732 (Fonte: DOM4.1 / INGV – GNDT)

città di Benevento ha patito al sommo negli edifici con due soli morti....”.

Il terremoto colpì un’area compresa tra Salerno, Avellino, Napoli e Melfi, interessando

complessivamente 67 centri abitati, di cui circa 20

completamente distrutti o gravemente

danneggiati nel patrimonio edilizio.

Altro evento sismico, riportato tuttavia dal solo *Mercalli* nel suo “*Catalogo dei terremoti storici d’Italia*”, viene indicato in data 13 febbraio 1739, ma deve ritenersi che in città provocò solo limitati danni a strutture murarie.

La sera del 26 luglio 1805, giorno dedicato a Sant’Anna, alle ore 10.01, un sisma di forte intensità investe il Molise e la Campania, con area epicentrale ubicata tra Boiano, Baranello, Isernia e Campobasso: l’intera Italia meridionale avverte nettamente l’evento, con effetti registrati a Sulmona, a

Cosenza e fino a Lecce, mentre la città di Benevento non ne fu particolarmente colpita.

La parte maggiormente interessata e danneggiata dal sisma risulta essere l'area del Matese, nel "Contado del Molise", laddove si contarono circa 5.000 vittime, di cui 1.000 nella sola città di Isernia, ma fu avvertito con molta intensità anche nella città di Napoli.

L'evento si colloca nella fascia sismicamente attiva dell'Appennino

meridionale ed è imputabile ad una faglia diretta con orientazione appenninica; i dati storici disponibili evidenziano che l'area maggiormente colpita (IX grado Mercalli) ha una forma orientativamente ellittica di circa 460 Km², con asse maggiore pari a circa 50 Km, a

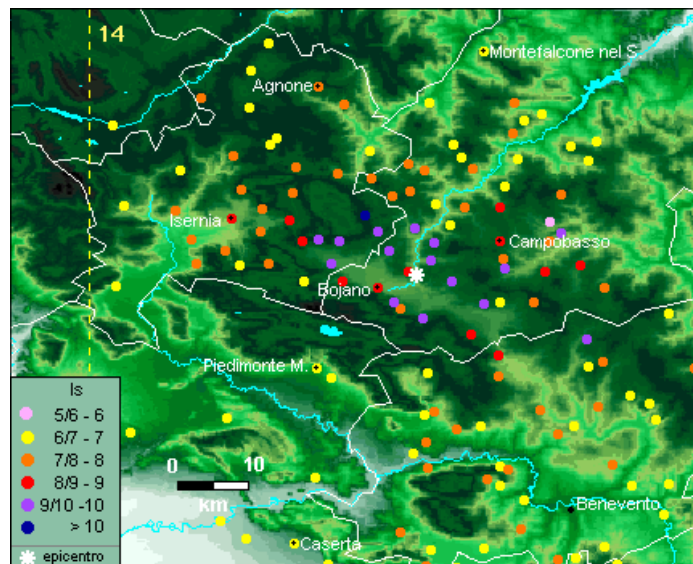


Figura 6 – Mappa dell'Intensità Sismica - Terremoto del 26 luglio 1805 (Fonte: DOM4.1 / INGV – GNDT)

testimonianza della lunghezza della frattura che ha generato tale sisma.

Per i danni prodotti nonché per distribuzione in termini di effetti e di intensità, il terremoto del 1805 può essere paragonato, come magnitudo, al sisma del 23 novembre 1980 (Ms = 6.9).

Questo evento, ricordato come il "terremoto di Sant'Anna" per la data in cui esso occorre, è associato ad un numero particolarmente elevato di modificazioni, prevalentemente di natura idrogeologica, che vennero

segnalate su un territorio molto vasto: le cronache d'epoca narrano di boati sotterranei uditi alcuni giorni prima del sisma in tutta l'area del Matese, di animali inquieti, di forti sentori di zolfo, di bagliori luminosi, di atmosfera caliginosa per alcuni giorni prima del sisma; nell'area sannita si narra delle sorgenti sulfuree di Telesse che si intorbidirono e divennero lattiginose per più giorni, delle acque del Fiume Calore che, presso Solopaca, "ivi uscirono dal proprio letto torbide e spumose", dei pozzi e delle risorgive presso Melizzano, che "si intorbidirono e presero un sapore disgustoso; dopo il terremoto il loro volume crebbe sensibilmente, ma l'acqua rimase torbida per vari giorni".

Ulteriori eventi furono avvertiti alle ore 11 del giorno 25 novembre 1814, con numerose repliche che durarono fino al giorno 8 gennaio 1815, ed alle ore 21 del 16 dicembre 1857; si registrano solo lievi danni materiali.

In data 17 settembre 1885 ancora un terremoto è avvertito a Benevento, sotto forma di uno sciame sismico costituito da almeno 8 scosse, di cui la principale alle ore 10.35, classificata di intensità $I_0 = 7.0$ e magnitudo $M_s = 4.8$; i danni, anche in tal caso, furono esclusivamente materiali.

L'evento ebbe epicentro proprio nella zona di Benevento e risultò essere piuttosto localizzato, anche se fu chiaramente avvertito in buona parte della Provincia.

Interessante notare come nella cronaca del *Vari*, si segnali, ancora una volta, che la zona più danneggiata fu la valle del Fiume Sabato: "Non v'ha dubbio che Benevento fu il centro dell'onda sismica. Patì specialmente la parte bassa della città, prossima alla confluenza dei fiumi Sabato e Calore, giacché ivi i fabbricati furono più lesionati".

Negli anni successivi si avvertono a Benevento numerose altre scosse sismiche, ma nessuna determina particolari danni: il giorno 1 febbraio 1895, alle ore 8.24, il sisma fu chiaramente avvertito dalla popolazione che si riversò per strada con scene di panico; il *Vari* riporta che "la direzione dell'onda

sismica fu ben determinata da me, da nord-ovest – sud-est, col tromometro Bertelli dell'Osservatorio, allora in Santa Sofia”.

Il giorno 14 marzo 1905 si registra ancora una forte scossa con epicentro nel beneventano, mentre il giorno 26 novembre dello stesso anno fu chiaramente avvertito dalla popolazione il sisma avvenuto nell'area irpina.

Il giorno 7 giugno 1910 si avverte in Benevento il forte terremoto che colpisce la zona di Calitri; secondo il Vari “la popolazione, invasa dallo spavento, si riversò all'aperta campagna, dove riparò sotto tende e baracche improvvisate”.

Ancora un evento poco importante interessa la zona del Matese in data 4 ottobre 1913, mentre è chiarante avvertito in città il forte terremoto di Avezzano in data 03 gennaio 1915.

L'area beneventana è ancora interessata da una serie di scosse per un evento locale il cui epicentro è localizzato nella zona di Cerreto Sannita, delle quali la più importante è registrata il giorno 25 maggio 1927, alle ore 3.51, pari al VI° grado della scala Mercalli.

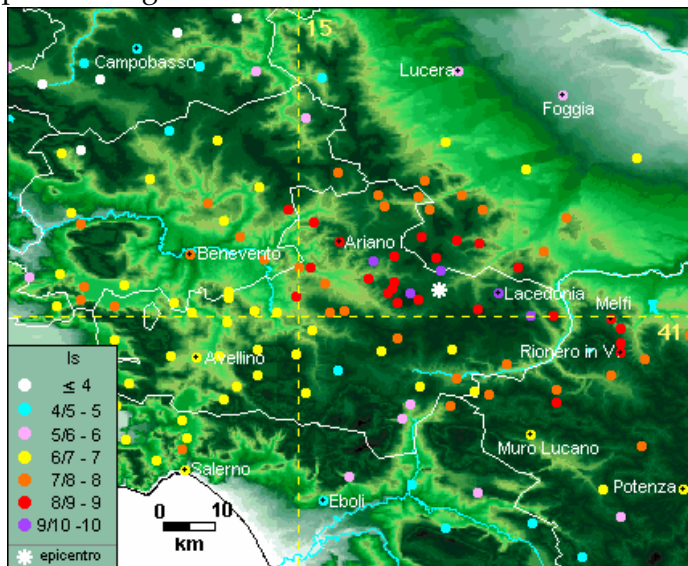


Figura 7 – Mappa dell'Intensità Sismica - Terremoto del 23 luglio 1930 (Fonte: DOM4.1 / INGV – GNDT)

Il giorno 23 luglio 1930, alle ore 01.08 italiane, un terremoto di magnitudo $M_s = 6.7$ colpisce un'area dell'Italia meridionale vasta circa 6.300 Km², interessando 7 Province e circa 50 comuni; l'epicentro dell'evento è localizzato tra Trevico e Scampitella, nell'area

a nord ovest del vulcano spento del *Vulture*, quasi al confine tra le Province di Avellino e Foggia, e le scosse nettamente avvertite sono due, dalla durata complessiva di circa 48 secondi, e raggiungono il X° grado della scala Mercalli.

Il terremoto risulta distruttivo soprattutto ad Aquilonia e Lacedonia, laddove circa il 70 % del patrimonio edilizio venne completamente distrutto, mentre in altri 20 centri abitati circa le costruzioni, realizzate per lo più con materiali di scadente qualità, vengono in gran parte fortemente danneggiate; le vittime del terremoto risultano complessivamente 1.778, i feriti 4.264, le case crollate complessivamente 3.188 e quelle danneggiate 2.757.

In Benevento, laddove il terremoto è avvertito con intensità $I_0 = 8$, si contano complessivamente 22 morti e 95 feriti; i danni al patrimonio edilizio risultano consistenti, in particolare nella parte bassa dell'abitato.

Il 21 agosto 1962, alle ore 19.12 una prima scossa di terremoto seguita da altre due alle ore 19.21 e 19.45 fa tremare di nuovo la Campania;

l'epicentro dell'evento è ancora localizzato tra Montecalvo Irpino e Sant'Arcangelo Trimonte e la magnitudo è pari a $M_s = 6.20$.

I centri più colpiti risultano compresi tra le Province di Benevento (35 comuni, tra cui Apice, completamente abbandonata dopo il sisma, Sant'Arcangelo Trimonte e Molinara, particolarmente danneggiati) e di

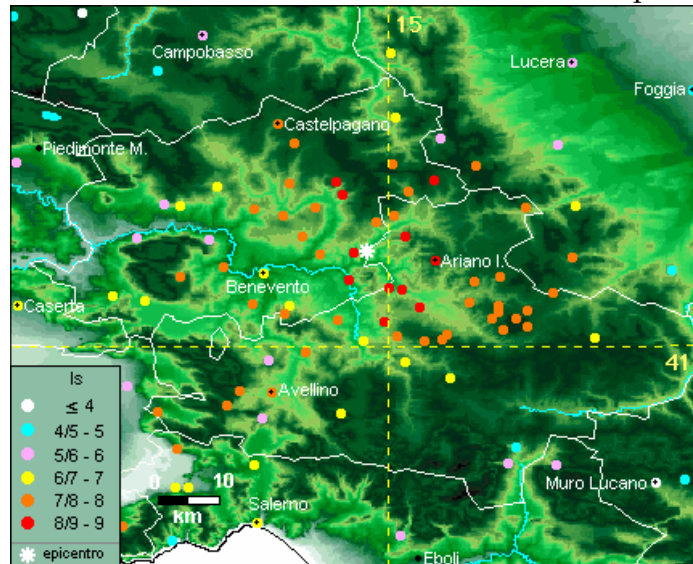


Figura 8 – Mappa dell'Intensità Sismica - Terremoto del 21 agosto 1962 (Fonte: DOM4.1 / INGV – GNDT)

Avellino (33 Comuni, tra cui fortemente danneggiati Casalbore, Ariano, Montecalvo e Melito); il centro più colpito risulta essere Ariano Irpino, laddove altre due forti scosse in serata, alle ore 22.15 e 23.10, accrescono l'entità del danneggiamento.

Complessivamente il terremoto miete soltanto 21 vittime, grazie probabilmente alla prima scossa, più lieve delle altre, che mette in allarme la popolazione, la quale si riversa all'esterno; quindi le successive scosse, più forti, trovano le abitazioni già parzialmente evacuate, seminando danni ma non morti.

A Benevento la principale scossa sismica è avvertita con intensità $I_0 = 7$; si registrano solo danni materiali al patrimonio edilizio, senza crolli di strutture e nessuna vittima.

Alle 19.34 del 23 novembre 1980 una scossa di magnitudo $M_s = 6.90$ fa tremare per circa 90 secondi la Campania e la Basilicata; l'epicentro di uno degli eventi più distruttivi che abbia interessato l'Appennino meridionale è in

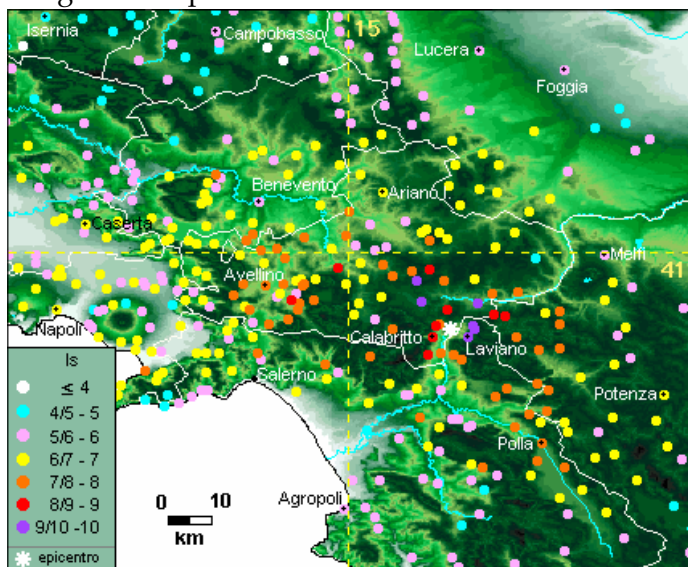


Figura 9 – Mappa dell'Intensità Sismica - Terremoto del 23 novembre 1980 (Fonte: DOM4.1 / INGV – GNDT)

prossimità di Conza della Campania (AV).

In una vasta area compresa tra le due regioni interessate, definita "cratere" e costituita da 36 comuni, si registra il parziale o totale collasso dei centri abitati: paesi come Lioni, Sant'Angelo dei Lombardi, Teora, Conza, Laviano, Valva, Colliano, Balvano,

Calabritto, Pescopagano sono completamente distrutti, mentre molti altri risultano gravemente danneggiati.

L'evento è, tuttavia, nettamente avvertito in tutta l'Italia Meridionale; nella città di Napoli determina il crollo di un edificio di nove piani in Via Stadera, con la morte di circa 100 persone, ed il danneggiamento di numerosi edifici, per lo più ubicati nel centro storico.

Complessivamente il terremoto miete 2.735 vittime (1.762 nella Provincia di Avellino, 674 in quella di Salerno, 153 in quella di Potenza, 12 in quella di Caserta, 3 in quella di Benevento e 131 in quella di Napoli), circa 9.000 feriti, interessando complessivamente un territorio di circa 15.500 Km² e provocando danni in 466 Comuni.

Nella città di Benevento il sisma è avvertito con intensità $I_0 = 6$ e determina danni non rilevanti al patrimonio edilizio, concentrati prevalentemente nella parte bassa dell'abitato, tra il quartiere Triggio, Via Torre della Catena, e zona prospiciente il Fiume Sabato.

L'evento sismico del novembre 1980 è stato determinato da un meccanismo sismogenetico piuttosto complesso, costituito da tre distinti fenomeni di rottura succedutisi nell'arco di circa 40 secondi lungo differenti segmenti di faglia su di un fronte di circa 40 Km:

la rottura si è propagata

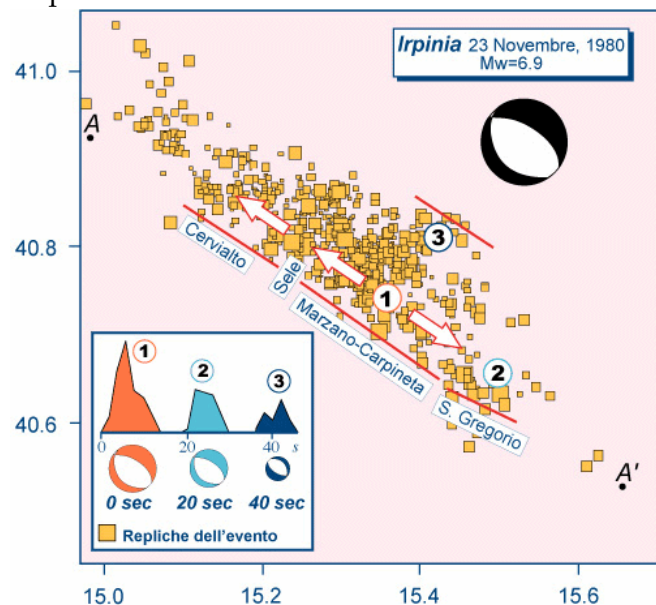


Figura 10 - Meccanismo di rottura della faglia sismogenetica - Terremoto del 23 novembre 1980

dall'ipocentro (ubicato ad una profondità di circa 10 Km), interessando segmenti di faglia disposti lungo i monti Marzano, Carpineta e Cervialto e verso la Piana di San Gregorio (Cfr. *Figura 10*).

Dopo circa 20 secondi la rottura si è propagata verso SE, quindi, dopo circa 40 secondi dal primo evento, anche verso NE, coinvolgendo un nuovo segmento faglia.

Il movimento del sistema di faglie sismogenetiche raggiunse la superficie topografica, laddove generò una scarpata di faglia con rigetto variabile tra 0.60 m ed 1.0 m, riconoscibile in superficie per circa 38 Km e generò la subsidenza relativa di una vasta area a nord est della linea tettonica, confermato da successive misure geodetiche; si stima che la dislocazione lungo il piano di faglia in corrispondenza dell'epicentro sia stata pari a circa 2.0 m.

Nelle settimane successive all'evento principale si registrarono numerose repliche (circa 60 solo nelle prime 24 ore dall'evento, delle quali la più intensa alle ore 18.07 del 25 novembre, pari al VIII° grado della scala Mercalli), alcune di forte intensità, tutte concentrate lungo l'allineamento tettonico di cui innanzi (Cfr. *Figura 10*), disposte prevalentemente a profondità inferiori rispetto all'evento principale.

7.2 Sismicità del Territorio

I dati relativi alla sismicità storica evidenziano che il tratto di Appennino campano compreso tra l'area del Matese, il Sannio e l'Irpinia sia una delle regioni a potenziale sismogenetico più elevato d'Italia; in detta area, infatti si registrano terremoti distruttivi con magnitudo pari o superiore a 7.

Dall'analisi della sismicità storica che ha interessato l'area beneventana, con particolare riferimento ai dati relativi agli eventi degli ultimi cinque secoli, caratterizzati da un più elevato grado attendibilità, nonché

quelli registratisi in epoca “strumentale” (1930, 1962 e 1980), è possibile trarre una serie di considerazioni di seguito sintetizzate:

- le isosiste dei maggiori terremoti sono tutte orientate in direzione della catena appenninica, e seguono i principali lineamenti tettonici;
- l’attività sismica, sia storica che recente, che ha interessato la città non è associata ad una particolare struttura tettonica, ma deriva da diverse sorgenti;
- gli eventi che determinano i maggiori risentimenti in città sembrano essere legati all’attivazione di strutture tettoniche ubicate sul versante orientale della catena del Matese;
- i periodi di attività sismica sono caratterizzati da periodi di quiescenza talvolta molto estesi.

In effetti si nota che i terremoti distruttivi che hanno interessato l’area irpino-sannita sono tutti localizzati in un’area avente una larghezza di circa 30 Km, che si estende lungo l’asse della catena secondo la direzione appenninica NW-SE, in coerenza con i lineamenti tettonici più significativi; pertanto è lecito ritenere che le strutture sismogenetiche dei terremoti caratterizzati da più elevata energia abbiano andamento secondo l’asse longitudinale della catena.

Numerosi studi sismologici eseguiti negli ultimi anni nell’area irpino-sannita e molisano-sannita evidenziano, in linea di massima, che i meccanismi focali dei maggiori eventi sismici occorsi sono da attribuire ad un sistema di faglie con meccanismi di rottura del tipo diretto, allineate lungo l’asse della catena (NW-SE), tutte sorgenti di terremoti di elevata magnitudo, interrotte e fratturate da strutture sismogenetiche secondarie di svincolo al movimento di traslazione della catena verso est (Cfr. [Figura 11](#)).

Tali lineamenti secondari, localizzati ai margini delle strutture principali con direzione ortogonale alla catena sono caratterizzate da meccanismi di rottura prevalentemente trascorrenti e sono sorgenti di



Figura 11 – Segmenti della faglia sud-appenninica, con indicazione del lato ribassato (trattini) e delle date di alcuni dei forti terremoti ad essa riconducibili (la superficie dei cerchi è proporzionale al volume focale) – da F. Barberi, 2005

terremoti di magnitudo più modesta; essi, tuttavia, possono essere attivate dai terremoti occorrenti in asse catena o possono avere funzioni di “canalizzatori” di energia sismica.

Quanto innanzi è strettamente correlato con il complesso assetto tettonico e strutturale del tratto campano dell’Appennino meridionale, costituito – secondo recenti interpretazioni - da una catena a falde di ricoprimento in regime di compressione lungo il margine orientale ed in regime di distensione lungo il margine occidentale; la formazione della catena sarebbe, infatti, associata alle spinte compressive delle zolle Africana ed Eurasiatica lungo il bacino del Mediterraneo, alle quali si sarebbero

sovrapposte, a partire da circa 10^6 anni fa, ulteriori campi di deformazione legati all'apertura del bacino del Tirreno.

Tale fenomeno determinerebbe la migrazione dell'asse della catena verso il bacino adriatico (margine in compressione) ed instaurerebbe un regime distensivo tra catena e bacino tirrenico; tale regime avrebbe determinato la formazione di depressioni strutturali tipo graben, quali la Piana Campana e la Piana del Sele, delimitate dai circostanti massicci carbonatici, dislocati per faglie dirette.

Studi eseguiti sui maggiori terremoti "strumentali" registrati nello scorso secolo nell'area in oggetto (1930, 1962 e 1980) ed estesi ai più importanti eventi storici, confermano che la genesi degli stessi è da ricollegare in prevalenza a meccanismi di rottura complessi, tipo *dip-slip* (asse tensile normale alla catena), con la mobilitazione di settori della faglia sud-appenninica di lunghezza compresa in media tra 40 e 50 km circa (ad esclusione del forte sisma del 1456, per il quale si ipotizza una lunghezza della faglia mobilitata pari a circa 100 Km) e profondità degli ipocentri compresa entro i primi 15 km della crosta terrestre.

La distribuzione degli epicentri dei maggiori terremoti dall'anno 1000 all'attuale, nonché la distribuzione delle isosiste, conferma che la sismicità è praticamente continua lungo tutto l'asse della catena appenninica meridionale.

L'analisi della sequenza sismica registrata nel maggio 1990 nell'area beneventana, caratterizzata da modesta magnitudo epicentrale, sembra indicare che l'attività è imputabile a sistemi di faglie trasversali alla catena, caratterizzate da orientazione est-ovest; quanto innanzi conferma sia la forte segmentazione del sistema di faglie appenninico, responsabile dei maggiori sismi, sia che le strutture trasversali alla catena non risultano essere sorgenti di eventi significativi.

Le caratteristiche geomorfologiche del territorio beneventano (anche se un notevole limite nell'utilizzo di analisi geomorfologiche finalizzate all'individuazione di lineamenti tettonici è costituito dalla facile erodibilità di molti dei litotipi affioranti, quindi poco conservativi nei confronti di strutture tettoniche recenti) nonché le analisi sismiche storiche, confermano, quindi, che il territorio beneventano è soggetto ad evidente controllo strutturale; quanto innanzi è confermato sia dalla presenza di corsi d'acqua susseguenti, i quali probabilmente ricalcano alcuni lineamenti tettonici principali, sia da alcuni presumibili versanti di faglia (*Pacevecchia*, valle del *Fiume Sabato*, *San Vitale*).

In relazione a quanto innanzi, nell'area soggetta a studio è possibile riconoscere sistemi di faglie principali con orientazione E-W, alle quali si associano faglie ad andamento N-S.

I primi tipi di faglie individuano prioritariamente strutture tettoniche monoclinali, che determinano la formazione di zone depresse nell'ambito delle quali si sono accumulati, ad opera dell'azione fluviale, potenti coltri di depositi continentali quaternari; la seconda famiglia di faglie, ad orientazione meridiana, dovrebbe rappresentare l'effetto dello svincolo al movimento differenziale delle diverse strutture.

Numerosi indizi sembrano suggerire l'esistenza di un lineamento tettonico orientato E-W immediatamente a nord del centro storico di Benevento, in corrispondenza della stazione FF.SS., il quale verso est mette in contatto di depositi fluvio-lacustri pleistocenici di *San Giorgio* con i sedimenti afferenti la successione del *Flysch Rosso*.

Quasi parallelamente allo stesso, un secondo lineamento tettonico è stato ipotizzato nella valle del Fiume Sabato, al piede del rilievo collinare della *Gran Potenza*, che prosegue ad ovest nelle C.de *Serretelle* e *Pantano* e ad est verso la dorsale di *Monte Guardia*, laddove un lineamento secondario determina il relitto di scarpata in loc. *Pacevecchia* (si confronti la *Carta Geolitologica*).

Quanto innanzi può essere dedotto – come già evidenziato – da numerosi indizi, legati essenzialmente alla dinamica fluviale: Il *Fiume Calore*, infatti, tra *Apice* e *Benevento*, presenta un andamento pressoché rettilineo, tale da far presupporre il controllo strutturale operato da una faglia parallela alla valle; peraltro i dati stratigrafici indicano che nella zona nord dell'abitato di Benevento (*Pezzapiana, Ferrovia, Cellarulo*), immediatamente prima della confluenza tra i fiumi *Sabato* e *Calore*, il substrato sprofonda notevolmente ed in modo repentino, risultando ricoperto da spessori notevoli (80 ÷ 100 m) di depositi alluvionali: l'azione deposizionale del fiume, quindi, si sarebbe esplicata in un'area tettonicamente depressa, in progressiva subsidenza.

Va ancora sottolineato che il profilo trasversale dell'alveo del Fiume Calore è fortemente asimmetrico, con versanti più acclivi in destra orografica: tale circostanza potrebbe essere la testimonianza di un generale basculamento dell'area verso nord.

Peraltro anche dati recenti, quali le analisi del terremoto del 23.11.1980, uno dei più significativi avvenuto in epoca recente nel bacino del Mediterraneo ($M_s = 6.9$), e lo studio dei relativi aftershocks, indicano che i meccanismi focali sono riconducibili ad una faglia diretta orientata NW-SE (direzione appenninica), immergente verso SW ed inclinata di 50° circa; inoltre le analisi delle sequenze sismiche verificatesi nel bacino beneventano nell'anno 1990 e registrate da numerose stazioni installate nell'area, hanno evidenziato l'esistenza di un allineamento E-W nella distribuzione degli ipocentri localizzati nella zona nord occidentale di Benevento.

In definitiva, quindi, sia le successioni alluvionali antiche del *Fiume Calore*, le quali costituiscono la dorsale sulla quale è edificata la città di *Benevento*, sia le successioni alluvionali attuali e recenti, si sarebbero depositate lungo il lato depresso di una monoclinale immergente verso nord, limitata da una famiglia di lineamenti tettonici con orientazione E-W.

Per quanto riguarda, infine, i disturbi tettonici aventi orientazione N-S, un possibile allineamento di faglie può essere individuato ad ovest dell'abitato, tra le contrade *Fasanella-San Vitale*, *Serretelle* e *Monte Pino*: gli indizi che suggeriscono la presenza di un disturbo tettonico sono rappresentati - oltre che da contatti stratigrafici discordanti tra i sedimenti miocenici e pliocenici afferenti sia le unità del gruppo *Tufo-Altavilla* (C.da *San Vitale*) che quelle del gruppo *Ariano* con le successioni del *Flysch Rosso* - anche in tal caso dalla geodinamica fluviale: l'aspetto principale riguarda la morfologia del substrato pliocenico, che in prossimità della confluenza tra i fiumi *Sabato* e *Calore*, risulta profondamente inciso da due paleoalvei, i quali testimoniano una intensa azione erosiva operata del *Fiume Sabato*.

A fronte di ciò, l'azione erosiva dell'alveo sul substrato pliocenico risulta molto meno accentuata allontanandosi dalla zona di confluenza, in particolare laddove la valle assume direzione N-S; nella stessa zona, inoltre, detto substrato subisce un notevole e rapido approfondimento verso ovest.

Quanto innanzi porta ad ipotizzare la presenza in prossimità della zona di confluenza tra i due fiumi, di un lineamento tettonico il quale, determinando la creazione di una scarpata di faglia o comunque modificando la pendenza del *talweg* fluviale in modo da favorire un'azione di tipo erosivo, ha prodotto un approfondimento dell'alveo che ha, di conseguenza, innescato un fenomeno di erosione regressiva sul substrato pliocenico ad opera del *Fiume Sabato*.

Inquadrato sinteticamente il contesto geologico strutturale dell'area beneventana, i numerosi dati geognostici e geotecnici disponibili essenzialmente per le aree urbane e periurbane, nonché i risultati delle prove sismiche eseguite - quasi esclusivamente prove sismiche in foro tipo "*down-hole*" - hanno consentito di elaborare una *Carta della Microzonazione in Prospettiva Sismica* del territorio comunale; va tuttavia precisato che la promulgazione dell'OPCM n° 3274 ha determinato sostanziali modifiche, tra

l'altro, anche ai metodi ed alle tecniche di zonazione del territorio, pertanto è prevedibile a breve una revisione ed un aggiornamento di detta Carta.

Lo studio di microzonazione in prospettiva sismica di zone, più o meno estese, di territorio urbano e periurbano è una procedura oramai consolidata, normalmente utilizzata in indagini di programmazione territoriale, volta – almeno come principio ispiratore - a contenere entro limiti tecnicamente accettabili gli effetti di terremoti futuri sui manufatti esistenti e di progetto.

Tale tipo di studio persegue l'obiettivo di definire microzone omogenee di risposta tecnico-meccanica dei sedimenti - con particolare riferimento agli spessori di interesse geotecnico - alle sollecitazioni di tipo dinamico, nonché le prevedibili interazioni con le eventuali strutture sovrastanti gli stessi.

Va, inoltre, tenuto presente che, nell'ambito di tali microzone, il fattore di rischio, quindi il livello di danno atteso, dipende, oltre che dalla vera e propria risposta dinamica (ampiezza, frequenza e durata delle vibrazioni nella varie microzone), anche da fenomeni di instabilità indotta dal sisma stesso - quali frane, cedimenti o liquefazioni - che spesso determinano danni alle strutture addirittura maggiori rispetto agli effetti del semplice scuotimento.

Con riferimento alla vigente normativa in materia, il Legislatore ha definito un coefficiente di accelerazione sismica "C" rappresentativo dell'accelerazione tangenziale che può prodursi, durante un evento sismico, sulla struttura edilizia: tale coefficiente risulta fondamentale nel campo dell'ingegneria sismica in quanto, trasferito nei calcoli di progetto, consente di dimensionare un' adeguata struttura antisismica, capace di una risposta di tipo elastico nello specifico campo delle sollecitazioni attese.

Il coefficiente C deve essere obbligatoriamente utilizzato, in prima istanza, nei calcoli statici relativi a tutte le edificazioni: per il territorio

comunale di Benevento esso assume, ai sensi della *Delibera G.R. Campania n° 5447 del 07.11.2002*, il valore di 0,100 g [$C = (S-2)/100$, con $S =$ Grado di Sismicità = 12].

Con lo studio di microzonazione sismica si cerca, in definitiva, di individuare con maggior dettaglio se esistono in ambito locale variabilità nell'assetto geostrutturale del territorio che suggeriscano, per determinate zone, un valore diverso del coefficiente stabilito dalla norma: tale valore corretto viene definito come "Kt" (*coefficiente di accelerazione sismica locale orizzontale amplificata*).

Gli studi e le indagini eseguite, supportate anche dai primi risultati emersi dalle attività connesse con il "Progetto Traiano" (*Traiano-Project for the assessment and reduction of vulnerability of urban areas*), finanziato dal GNDT (*Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti*) e dalla *Protezione Civile*, centrato sulla città di *Benevento* e le cui attività si sono – almeno per una prima fase – recentemente concluse, hanno consentito di individuare – in particolare nell'ambito urbano e periurbano – le aree caratterizzate da rischio più elevato nel caso di sollecitazioni dinamiche di tipo sismico.

I dati emersi evidenziano – in linea di massima – che le aree caratterizzate da affioramento della facies conglomeratica della formazione alluvionale rissiana, laddove gli stessi non risultano ricoperti da apprezzabili coltri di terreni di copertura, non risultano interessate da particolari fenomeni di amplificazione; analogamente assenza di significativi affetti di amplificazione si registra anche per le aree poco acclivi caratterizzate dall'affioramento della formazione argillitica miocenica del *Flysch Rosso* (collina di *Capodimonte*).

Le aree costituite dai terrazzi alluvionali pleistocenici ed olocenici (*Pezzapiana* e *Rione Ferrovia*, *Cellarulo*, *San Pasquale*, *Crocella Pacchiano*) nonché l'area terrazzata di *Cretarossa* sono caratterizzate, di contro, da un fenomeno di amplificazione localizzato nelle frequenze più alte dello spettro di risposta,

con ranges variabili in relazione a particolari caratteri morfostrutturali delle singole aree, ma evidenziando sempre un picco piuttosto netto.

Per le aree circostanti la valle del *Fiume Calore* tale fenomeno di amplificazione può essere interpretato come il risultato della netta differenza nei valori di impedenza sismica che differenziano le alluvioni terrazzate ed i sovrastanti terreni “soffici” (alluvioni attuali, depositi eluvio-colluviali), mentre per la zona di C.da Cretarossa la forte differenza di impedenza sismica si registra tra i depositi fluvio-lacustri e piroclastici residuali ed i sottostanti depositi alluvionali antichi conglomeratici.

Per le analoghe motivazioni, fenomeni di variazione delle frequenze di risonanza fondamentali sono ipotizzate – anche se non esistono significative misure dirette – anche per le aree del centro storico, laddove affiorano potenti coltri di copertura da rimaneggiamento antropico.

Fenomeni di amplificazione su picchi di frequenza più o meno netti si ipotizzano – in mancanza di significative misure dirette – anche per la zona di loc. *Pacevecchia* prospiciente la valle del *Torrente San Nicola*.

Un terzo gruppo di zone nelle quali gli spettri di risposta sismica sperimentali evidenziano caratteristiche analoghe o comunque associabili, è costituito dalle aree ricadenti sul versante orientale della valle del *Fiume Sabato* (*Via Avellino, Fontanelle, Via dei Mulini, Piano Morra*); gli elaborati sperimentali per detta zona evidenziano fenomeni di amplificazione concentrati sulle frequenze più basse, senza presentare picchi più o meno netti.

Quanto innanzi può essere imputato alla notevole eterogeneità nei sedimenti costituenti il versante in oggetto, lungo il quale affiorano, al di sotto di coperture eluvio-colluviali e piroclastiche residuali, a bassa impedenza sismica, sia la facies di transizione che la facies limoso-argillosa della successione alluvionale antica, sovrastati dai depositi francamente conglomeratici ed aventi a letto la formazione pliocenica che, subaffiorante in prossimità dell’area golenale dell’asta fluviale.

Una quarta ed ultima zona del territorio comunale nella quale si rileva una tipologia di risposta alle sollecitazioni sismiche ancora diversa è costituita dalla valle alluvionale del Fiume Sabato (*Rione Libertà, Torre della Catena, Santa Colomba* e, in modo più limitato, *Santa Clementina*).

Per dette aree i dati sperimentali nonché le relative correlazioni ed interpretazioni indicano accentuati effetti di amplificazione su tutto lo spettro di risposta, senza formazione di picchi.

L'interpretazione di tale fenomeno implica la probabile presenza di un modello geologico più complesso rispetto alla semplice successione costituita da limitate coltri di copertura e depositi alluvionali sciolti a cui soggiacciono i sedimenti argilloso siltosi della formazione pliocenica: tale successione infatti sicuramente induce fenomeni di amplificazione per la netta differenza di impedenza sismica esistente tra i depositi quaternari e la formazione pliocenica, così come, almeno sui bordi della valle, si sovrappongono anche affetti amplificativi di natura topografica (morfologia "a catino" della valle).

I consistenti fenomeni di amplificazione, in particolare sulle alte frequenze, potrebbero essere spiegati ipotizzando la presenza di un accentuato gap di velocità nel substrato: tutto ciò ben si concilia con quanto già innanzi accennato in ordine alla presenza di un lineamento tettonico che taglia la valle partendo dalle pendici del rilievo della Gran potenza e fino alla zona di Santa Colomba, lineamento che metterebbe a contatto il substrato pliocenico con i sedimenti argilloso siltosi afferenti la formazione alluvionale antica (facies "c"), la cui presenza nella zona più settentrionale della valle è stata accertata grazie alla recente esecuzione di alcuni sondaggi geognostici profondi.

Ulteriori e più approfondite indagini, sia di natura geognostica che geosismica, potrebbero avvalorare tale ipotesi; allo stato resta indiscutibile la circostanza che l'area della valle del *Fiume Sabato* è quella caratterizzata - in

ambito territoriale di Benevento – dai più elevati parametri di rischio sismico, così come, peraltro, già evidenziato dai dati empirici relativi al danneggiamento subito dalle strutture ivi esistenti nel corso degli ultimi significativi eventi sismici.

In appendice la presente capitolo (*Figura 12*), infine viene rimessa la *Carta della Sismicità in Italia* edita nell'anno 2004 a cura dell'*Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia*, nella quale vengono riportati la distribuzione degli ipocentri e la magnitudo di circa 45.000 terremoti avvenuti in Italia dal 1981 al 2002; si evidenzia come la maggior parte dei terremoti è caratterizzata da magnitudo $M < 4,00$ con ipocentri localizzati all'interno della crosta terrestre, entro i 12 Km di profondità.

Essa mostra ancora come un gran numero di eventi sia localizzata in area appenninica, lungo direttrici preferenziali e vi sia stretta correlazione tra la superficie topografica e la distribuzione degli ipocentri, nonché in corrispondenza di aree vulcaniche attive.

Da segnalare, infine, un'ampia zona nel *Tirreno* meridionale, laddove si concentra un gran numero di terremoti intermedi e profondi: ciò in relazione al processo di subduzione della litosfera ionica al di sotto dell'arco calabro; a tale processo sono collegati alcuni dei più forti terremoti avvenuti in Italia: nel periodo interessato (1981 - 2002) il più forte terremoto - avente magnitudo $M = 5,80$ - è stato registrato in data 06 gennaio 1994, proprio in tale zona, ad una profondità di circa 200 Km.

Viene, inoltre, rimessa in appendice (*Figura 13*) la scala macrosismica *Mercalli – Cancani – Sieberg*, in precedenza più volte richiamata ed un semplice tabella che mette in relazione quest'ultima con la magnitudo *Richter* e l'energia liberata in *joule* (*Tabella 7*).



Figura 12 – Carta della Sismicità in Italia

SCALA MERCALLI – CANCANI - SIEBERG

I Grado	Impercettibile: rilevato soltanto da sismografi.
II Grado	Molto leggero: recepito soltanto da rari soggetti nervosi oppure estremamente sensibili se in perfetta quiete e quasi sempre nei piani superiori dei caseggiati.
III Grado	Leggero: anche in zone densamente abitate viene percepito come tremolio soltanto da una piccola parte degli abitanti nell'interno delle case, come nel caso del passaggio di un'automobile a velocità elevata, da alcuni viene riconosciuto quale fenomeno sismico soltanto dopo averne ragionato.
IV Grado	Moderato: delle persone che si trovano all'esterno degli abitati ben poche percepiscono il terremoto. All'interno viene identificato da molte, ma non da tutte le persone in seguito al tremore, oppure a oscillazioni leggere di mobili. Cristallerie e vasellame, posti a breve distanza, urtano come al passaggio di un pesante autocarro su pavimentazione irregolare. Finestre tintinnano, porte, travi e assi scricchiolano, cricchiano i soffitti. In recipienti aperti, i liquidi vengono leggermente mossi. Si ha la sensazione che in casa un oggetto pesante (un sacco o un mobile) si rovesci, oppure di oscillare con tutta la sedia o il letto come su una nave con mare mosso. In generale questi movimenti non provocano paura a meno che le persone non si siano innervosite o spaventate a causa di terremoti precedenti. In rari casi i dormienti si svegliano.
V Grado	Abbastanza forte: perfino nel pieno delle attività giornaliere, il sisma viene percepito da numerose persone sulle strade e se sensibili anche in campo aperto. Nell'appartamento si avverte in seguito allo scuotere dell'intero edificio. Piante e rami deboli di cespugli ed alberi si muovono con evidenza., come se ci fosse un vento moderato. Oggetti pendenti entrano in oscillazione, per esempio: tendaggi, semafori e lampadari non troppo pesanti; campanelli suonano, orologi a pendolo si fermano od oscillano con maggior periodo, dipendentemente dalla direzione della scossa se perpendicolare o normale al moto di oscillazione; a volte orologi a pendolo fermi possono rifunzionare; molle dell'orologio risuonano; la luce elettrica guizza o cade in seguito a movimenti della linea; quadri urtano battendo contro le pareti oppure si spostano; vengono versate piccole quantità liquide da recipienti colmi aperti; ninnoli ed oggetti del genere si possono rovesciare, oppure oggetti addossati alle pareti, arredi leggeri possono essere spostati di poco; mobili rintonano; porte ed imposte sbattono; i vetri delle finestre si infrangono. Quasi tutti i dormienti si svegliano. Sporadici gruppi di persone fuggono all'aperto
VI Grado	Forte: il terremoto viene notato da tutti con paura, molti fuggono all'aperto, alcuni hanno la sensazione d'instabilità. Liquidi si muovono fortemente; quadri, libri e cose simili cadono dalle pareti e dagli scaffali; porcellane si frantumano; suppellettili assai stabili, perfino isolati pezzi di arredo vengono spostati se non rovesciati; campane minori in cappelle e chiese, orologi di campanili battono. Case isolate solidamente costruite subiscono danni leggeri; spaccature all'intonaco, caduta del rinzaffo di soffitti e di pareti. Danni più forti, ma non

	ancora perniciosi, si hanno sugli edifici mal costruiti. Qualche tegola o pietra di camino cade.
VII Grado	Molto forte: lesioni notevoli vengono provocate ad oggetti di arredamento anche di grande peso, rovesciandoli e frantumandoli. Grandi campane rintoccano. Corsi d'acqua, stagni e laghi si agitano e intorbidiscono a causa della melma smossa. Qua e là, consolidamenti delle sponde di sabbia e ghiaia scompaiono. Variazione del livello dell'acqua nelle fontane. Danni moderati a numerosi edifici di forte struttura: piccole spaccature nei muri, cadono toppe piuttosto grandi dell'incalcinatura e dello stucco, a volte mattoni; le case vengono scoperchiate. Molti fumaioli vengono lesi da incrinature, da caduta di tegole, da fuoriuscita di pietre; camini già rovinati si rovesciano sopra il tetto danneggiandolo. Da torri e costruzioni alte cadono decorazioni mal fissate. Quando la casa è a pareti intelaiate, i danni all'incalcinatura e all'intelaiatura sono più gravi. Case mal costruite oppure riattate a volte crollano.
VIII Grado	Rovinoso: interi tronchi d'albero pendono inanimi o perfino si staccano. Anche i mobili più pesanti vengono spostati e a volte rovesciati. Statue, pietre miliari in chiese, in cimiteri e parchi pubblici ruotano sul proprio piedistallo oppure si rovesciano. Solidi muri di cinta in pietra sono aperti ed atterrati. Un quarto circa delle case è gravemente leso; alcune crollano; molte divengono inabitabili. Negli edifici ad intelaiatura gran parte delle intelaiature cadono. Case in legno vengono schiacciate e rovesciate. Si sente spesso che campanili di chiese e di fabbriche dopo la loro caduta provocano a edifici vicini spesso lesioni più gravi di quanto non avrebbe fatto da solo il terremoto. In pendii e terreni acquitrinosi si formano crepe. Dalle paludi si ha l'espulsione di sabbia e melma.
IX Grado	Distruttivo: circa la metà delle case in pietra sono distrutte; parecchie crollano; la maggior parte diviene inabitabile. Case ad intelaiatura sono divelte dalle proprie fondamenta, e crollano; travi strappate dipendentemente dalle circostanze contribuiscono assai alla rovina.
X Grado	Completamente distruttivo: gravissima distruzione di circa 3/4 degli edifici, la maggior parte crolla. Perfino costruzioni solide di legno e ponti subiscono gravi lesioni, alcuni vengono distrutti. Argini e dighe ecc. sono danneggiati notevolmente, binari leggermente piegati e tubature (gas, acqua e scarichi) vengono troncate rotte e schiacciate. Nelle strade lastricate e asfaltate si formano crepe e per pressione sporgono larghe pieghe ondose. In terre meno dense e più umide si creano spaccature fino alla larghezza di più decimetri; si notano parallelamente ai corsi d'acqua crepature che raggiungono larghezze fino ad un metro. Non soltanto scivolano pezzi di terra dai pendii, ma interi macigni rotolano a valle. Grossi massi si staccano dagli argini dei fiumi e di coste scoscese, riviere basse subiscono spostamenti di masse sabbiose e fangose, per cui il livello del terreno viene notevolmente variato. Varia di frequente il livello dell'acqua nelle fontane. Da fiumi, canali e laghi ecc. le acque vengono gettate contro le sponde.
XI Grado	Catastrofico: crollo di tutti gli edifici in muratura, soltanto costruzioni e capanne di legno ad incastro di grande elasticità ancora reggono. Anche i più grandi e i più sicuri ponti crollano a causa della caduta di pilastri in pietra o del cedimento di

	quelli in ferro. Binari si piegano fortemente e si spezzano. Tubature vengono spaccate e lese in modo irrimediabile. Nel terreno si manifestano vari mutamenti di notevole estensione, dipendentemente dalla natura del suolo: grandi crepe e spaccature si aprono; e soprattutto in terreni morbidi e acquitrinosi il dissesto è considerevole sia orizzontalmente che verticalmente. Ne segue il trabocco di sabbia e melma con le diverse manifestazioni. Sfaldamento di terreni e caduta di massi sono frequenti.
XII Grado	Grandemente catastrofico: non regge alcuna opera d'uomo. Lo scombusolio del paesaggio assume aspetti grandiosi. Flussi d'acqua sotterranei in superficie subiscono i mutamenti più vari: si formano cascate, laghi scompaiono, fiumi deviano.

Figura 13 – Scala Mercalli – Cancani - Sieberg

<i>Magnitudo Richter</i>	<i>Energia joule</i>	<i>Grado MCS</i>
< 3.5	< 1.6 E+7	I
3.5	1.6 E+7	II
4.2	7.5 E+8	III
4.5	4 E+9	IV
4.8	2.1 E+10	V
5.4	5.7 E+11	VI
6.1	2.8 E+13	VII
6.5	2.5 E+14	VIII
6.9	2.3 E+15	IX
7.3	2.1 E+16	X
8.1	> 1.7 E+18	XI
> 8.1	.	XII

Tabella 7 – Confronto tra Scala Mercalli – Cancani – Sieberg, Magnitudo Richter ed energia liberata in joule

8. Lo Studio: Note alla Cartografia Tematica

8.1 Carta Geolitologica [Tavola G01]

La *Carta Geolitologica* di cui all'allegata *Tavola G01*, è redatta su base aerofotogrammetrica aggiornata all'anno 2000 ed è stata completamente elaborata in modo informatico: la carta tematica viene restituita su singola tavola d'insieme in scala 1:20.000 (*G01*) e, al fine di rispettare i vincoli imposti dalla Legge Regionale n° 09/83, in n° 27 tavole alla scala 1:4.000 (da *G01.01* a *G01.27*) che coprono l'intero territorio comunale seguendo la suddivisione della citata base cartografia aerofotogrammetria.

Nel merito, va precisato che, oltre al necessario rilevamento geologico di campagna e alla successiva analisi aerofotogeologica del territorio comunale, ai fini della ricostruzione litostratigrafia del sottosuolo delle aree urbane e periurbane, sono state prese in considerazione una serie di indagini in sito - complessivamente n° 257 sondaggi geognostici spinti a varie profondità - a vario titolo eseguite nel corso degli ultimi anni sul territorio comunale e generalmente finalizzate alla realizzazione di opere pubbliche, ivi compresi i risultati di una campagna di indagini specificamente eseguita nell'anno 2004 per l'elaborazione del presente studio geologico, costituita complessivamente da n° 6 sondaggi profondi (50,00 - 92,00 m dal p.c.) ubicati in area urbana.

Tale consistente data-base di conoscenze ha consentito di ricostruire con sufficiente grado di approssimazione la struttura geolitologica del sottosuolo beneventano - notoriamente complessa e caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali, eluvio-colluviali, piroclastici residuali ed antropici aventi variabile potenza ed estensione areale - nonché di individuare i principali rapporti geostrutturali tra le formazioni affioranti e/o subaffioranti.

Le n° 4 Sezioni Geolitologiche rimesse nelle Tavole G02.01 e G02.02, inoltre, tracciate lungo direttrici significative confinate prevalentemente in ambito urbano ed elaborate sulla scorta dei dati geognostici di cui innanzi, chiariscono le caratteristiche litologiche ed i principali rapporti stratigrafico-strutturali fra le principali formazioni geologiche affioranti o subaffioranti in ambito comunale.

8.2 Carta Clivometrica [Tavola G03]

Preliminarmente all'elaborazione della *Carta della Pericolosità Geomorfológica ed Idraulica* è stata realizzata una *Carta Clivometrica* dell'intero territorio comunale, nell'ambito della quale sono state individuate una serie di "classi di pendenza" i cui limiti inferiori e superiori sono stati predeterminati sia in funzione delle limitazioni inerenti l'uso antropico del suolo che delle caratteristiche geolitologiche dei sedimenti affioranti nell'area in studio.

Ognuna delle zone è caratterizzata, per tutta la sua estensione, da una pendenza uniforme o costante nei limiti stabiliti dalla stessa classe di pendenza.

Il modello adottato per giungere alla determinazione della pendenza è quello geometrico, basato su semplici rapporti cartografici: in funzione della scala, infatti, e dell'equidistanza fra le isoipse, si giunge al valore percentuale della pendenza, ricavabile dalla relazione:

$$P = 100 * D/L \quad \text{dove:}$$

P = pendenza espressa in percentuale;

D = equidistanza fra le isoipse;

L = misura della distanza tra due isoipse contigue.

La definizione delle zone è stata eseguita con procedimento grafico, calcolando il valore dell'acclività lungo le linee di massima pendenza di ciascuna isoipsa contigua.

In funzione di quanto innanzi evidenziato, sono state complessivamente predeterminate n° 6 classi di pendenza:

- Classe A $P \leq 4,00 \%$ *pari a* $0,00 \div 2,30 \text{ Deg}$
- Classe B $4,00 \% < P \leq 8,00 \%$ *pari a* $2,31 \div 4,60 \text{ Deg}$
- Classe C $8,00 \% < P \leq 15,00 \%$ *pari a* $4,61 \div 8,65 \text{ Deg}$
- Classe D $15,00 \% < P \leq 20,00 \%$ *pari a* $8,66 \div 11,60 \text{ Deg}$
- Classe E $20,00 \% < P \leq 35,00 \%$ *pari a* $11,61 \div 20,50 \text{ Deg}$
- Classe F $P \geq 35,00 \%$ *maggiore di* $20,51 \text{ Deg}$

Dall'analisi della cartografia prodotta si evidenzia come le aree caratterizzate da acclività molto contenuta, quindi rientranti nella prima classe, siano quasi esclusivamente concentrate nelle piane alluvionali ed in un'ampia zona di *C.da Olivola*, mentre le limitate aree caratterizzate da acclività superiore al 35,00 % sono confinate prevalentemente in corrispondenza dei limiti meridionale e settentrionale del territorio comunale.

La successiva *Tabella 8* riporta la superficie in metri quadri ed ettari espressa da ogni singola classe di pendenza nell'ambito del territorio comunale, nonché il relativo valore percentuale sul totale del territorio comunale

<i>Classe</i>	<i>Metri Quadri</i>	<i>Ettari</i>	<i>%</i>
A	32.362.627	3.236	24.90
B	17.595.116	1.760	13.50
C	38.198.695	3.820	29.40
D	21.936.142	2.194	16.90
E	11.500.604	1.1150	8.90
F	8.367.936	837	6.40
<i>Totale</i>	<i>129.961.120</i>	<i>12.997</i>	<i>100.00</i>

Tabella 8 – Classi di Pendenza

Si evidenzia come la classe di pendenza maggiormente rappresentata in ambito comunale sia quella compresa tra 8.00 % e 15,00 %, che interessa una superficie complessiva di 3.820 *ha* pari al 29,40 dell'intero territorio sotteso, immediatamente seguita dalla classe con pendenza inferiore al 4.00 %, con una superficie complessiva pari a 3.236 *ha* corrispondente al 24,90 % del territorio.

Da notare, ancora, che le porzioni di territorio comunale sagomate su pendenze elevate, superiori al 35.00 %, risultano essere solo il 6,40 % rispetto alla superficie totale.

8.3 Carta della Pericolosità Geomorfologica ed Idraulica [Tavola G04]

In definitiva, quindi, le attuali forme morfologiche che caratterizzano il territorio comunale – censite ed evidenziate nella *Carta della Pericolosità Geomorfologica ed Idraulica* – risultano essere il frutto di una complessa evoluzione geodinamica del territorio, sostanzialmente controllata, almeno in epoche recenti, dall'attività dei due corsi d'acqua principali.

In particolare, si intende sottolineare che il tipo di approccio che ha ispirato la redazione della citata *Carta* ha preso spunto dalle conclusioni, di tipo scientifico, cui sono giunte altre realtà regionali che, nell'ultimo decennio, hanno dovuto dare delle risposte alla collettività in termini di pianificazione essenzialmente di tipo sismico.

Tale necessità è scaturita a seguito di eventi tellurici piuttosto importanti in termini di danni subiti a seguito di eventi che hanno interessato vaste zone delle Regioni Umbra e Molise, le quali si sono subito adoperate per redigere delle norme tecniche, finalizzate appunto a soddisfare le esigenze di microzonazione.

A tali positive esperienze, si è aggiunta quella maturata dall’*Autorità di Bacino dei Fiumi Liri – Garigliano e Volturno*, che in questi ultimi dieci anni è stata fortemente indirizzata all’individuazione di quelle aree del territorio che per motivi idrogeologici presentano delle evidenti criticità in termini di rischio per l’uomo.

Pertanto, la *Carta delle Pericolosità Geomorfologia ed Idraulica* è stata redatta anche con lo scopo di riconoscere, ad una scala sufficientemente di dettaglio, le condizioni geomorfologiche di sito che possono modificare sensibilmente le caratteristiche del moto sismico atteso (moto sismico di riferimento) o possono produrre effetti cosismici rilevanti (fratture, frane, liquefazioni, ...) per le costruzioni e le infrastrutture.

In breve, la *Carta* oltre che presentare delle pericolosità palesi (aree soggette a fenomeni di alluvionamento, aree in frana,...), presenta, in classi di pericolosità differenti, aree e zone che possono amplificare gli effetti di un’onda sismica, ovvero, processi morfoevolutivi già attivi o quiescenti che possono essere innescato o accelerati dallo stesso evento sismico.

Per la valutazione completa della pericolosità si è fatto riferimento all’esperienza ed al principio che un dato fenomeno geomorfologico può prodursi ex-novo, riattivarsi ove già presente o addirittura aumentare la propria intensità in condizioni di crisi telluriche, ma comunque in zone già predisposte al dissesto; per cui il rilevamento di dettaglio delle forme e dei processi che sono o sono stati attivi sul territorio, ha consentito una previsione in termini qualitativi del livello di pericolosità.

L’individuazione delle aree a pericolosità più elevata si basa sulla valutazione dei seguenti parametri non direttamente rappresentati nella *Carta* quali:

- ✓ presenza di fenomeni franosi attivi s.l. (attivi, sospesi e riattivati);
- ✓ presenza di fenomeni franosi inattivi s.l. (quiescenti e stabilizzati)

nonché in base ai seguenti elementi:

- ✓ presenza di indicatori geomorfologici che possano rappresentare indizi precursori di fenomeni di instabilità;
- ✓ presenza di caratteri fisici del territorio che rappresentino fattori predisponenti di fenomeni di instabilità, quali caratteri litologici, clivometrici e giacaturali nonché caratteri relativi alle coperture detritiche superficiali.

Le classi di pericolosità che, sulla base di quanto sopra esposto, è stato possibile formulare sono riportate nella tabella seguente *Tabella 9*:

Pericolosità		Descrizione
PB	bassa o nulla	Aree esenti da specifica pericolosità geomorfologica ed idraulica, per le quali i processi morfoevolutivi, le condizioni morfografiche e morfometriche, nonché le caratteristiche fisiche dei terreni non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di condizioni di pericolosità.
PM	moderata	Aree caratterizzate da moderata pericolosità geomorfologica ed idraulica, valutabili come tali sulla base di caratteri fisici territoriali (dinamica geomorfologica, condizioni morfostrutturali), allo stato non interessate da evidenze di movimenti gravitativi, sia superficiali che profondi, e/o di fenomeni e processi idraulici lineari e/o areali; condizioni morfostrutturali poco sinergiche con gli eventi sismici.
PME	medio elevata	Aree caratterizzate da medio-elevata pericolosità geomorfologica ed idraulica, evidenziata da indicatori geomorfologici diretti, quali l'esistenza di processi di versante superficiali, di segni precursori di movimenti gravitativi (ondulazioni, contropendenze, lacerazioni, etc....); aree inondabili ma non prossime ai corsi d'acqua; condizioni morfostrutturali sinergiche con gli eventi sismici.
PE	elevata	Aree caratterizzate da elevata pericolosità geomorfologica ed idraulica, in cui sono presenti movimenti di massa in atto, con dinamica geomorfologica tendente o meno all'estensione areale della pericolosità, nonché processi di rapida erosione ed alluvionamento.

Tabella 9 – Classi di Pericolosità Geomorfologica ed Idraulica

Si intende, infine, sottolineare che, nell'elaborazione della *Carta della Pericolosità Geomorfologica ed Idraulica*, sono state integralmente recepite le indicazioni di cui al *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico* redatto ai sensi delle Leggi 267/98 e 226/99 dall'*Autorità di Bacino dei Fiumi Liri – Garigliano e Volturno*.

8.4 *Carta Idrogeologica [Tavola G05]*

La *Carta Idrogeologica* di cui all'allegata Tavola G05, è redatta su base aerofotogrammetrica aggiornata all'anno 2000 ed è stata completamente elaborata in modo informatico: la carta tematica viene restituita su singola tavola d'insieme in scala 1:20.000 (G05) ed in n° 27 tavole alla scala 1:4.000 (da G05.01 a G05.27) che coprono l'intero territorio comunale seguendo la suddivisione della citata base cartografia aerofotogrammetria.

Essa riporta in sintesi i principali dati di interesse ideologico ed idrogeologico rilevati e/o raccolti durante le fasi di campagna dello studio.

Per quanto riguarda gli aspetti strettamente connessi all'idrologia, nell'ambito della *Carta* e riportata, con campitura a colori, la delimitazione dei principali sottobacini idrografici afferenti il *Fiume Calore*, individuate nelle seguenti aste fluviali e torrentizie:

- Fiume Sabato;*
- Fiume Tammaro;*
- Torrente Serretelle;*
- Torrente San Nicola;*
- Torrente Fasanella – Malecagna;*
- Torrente San Giovanni – Reventa.*

Sono, inoltre, evidenziati i principali spartiacque ideologici e le relative linee di deflusso delle acque superficiali, nonché i principali bacini idrici artificiali.

In ordini ai fattori di natura idrogeologica, nell'ambito della *Carta* viene riportata l'ubicazione di circa 480 pozzi per emungimento idrico ubicati prevalentemente nell'ambito della piana alluvionale dei Fiumi Calore e Sabato e nelle zone immediatamente limitrofe; in corrispondenza di buona parte degli stessi viene riportato anche il livello della superficie freatica libera, rilevato a mezzo di freatimetro ad impulsi elettrici, ed espresso come profondità in metri rispetto alla quota del piano di campagna.

Nel merito va evidenziato che i livelli piezometri riportati sono da considerarsi come indicativi di una situazione della falda relativa all'atto della misura, quindi direttamente influenzata da una serie di fattori quali la stagione dell'anno nella quale è stata effettuata la stessa misura, la piovosità media nel corso dell'anno ideologico, gli emungimenti effettuati e così via; pertanto il valore indicato è da intendersi come puramente indicativo ed assume valenza assolutamente relativa.

In relazione al censimento dei pozzi effettuato nell'ambito delle piane alluvionali dei Fiumi Calore e Sabato, infine, sono state costruite le curve isopiezometriche della falda di subalvea inerente i due corsi d'acqua, con indicazione delle quote assolute della superficie freatica libera espresse in metri sul livello del mare, nonché indicate le principali linee di deflusso delle acque sotterranee.

Anche in tal caso risultano valide le precisazioni in ordine alla valenza dei predetti dati.

8.5 Carta della Permeabilità [Tavola G06]

Disgiunta dalla *Carta Idrogeologica* per motivi di restituzione grafica, infine, ma strettamente connessa e funzionale alla stessa, la *Carta della Permeabilità* rimessa in Tavola G06 alla scala 1:20.000 riporta la suddivisione per classi di permeabilità relativa delle formazioni affioranti nel territorio comunale.

Nello schema proposto, i termini litologici affioranti in ambito del territorio comunale di Benevento vengono suddivisi in “*complessi idrogeologici*”, definiti come l’insieme di termini litologici simili, aventi una comprovata uniformità spaziale e giaciturale, un tipo di permeabilità prevalente in comune ed un grado di permeabilità relativa che si mantiene in un campo di variazione piuttosto ristretto [Civita, 1973].

Pertanto, la differenziazione tra un complesso ed un altro è data dal grado di permeabilità relativa, indipendentemente dal tipo.

La *Carta della Permeabilità*, a campitura totale, suddivide il territorio comunale, con riferimento alle caratteristiche idrogeologiche dei sedimenti affioranti, in n° 6 classi di permeabilità a valore decrescente, da “*permeabilità alta*” a “*permeabilità nulla*”.

Qualora all’interno di una formazione è possibile individuare termini litologici caratterizzati da grado di permeabilità relativa diverso da quello generale, sebbene non definibili stratigraficamente ed realmente, ma comunque aventi valenza idrogeologica locale, tale variazione viene indicata, in legenda, da freccette poste in corrispondenza dei lati maggiori del rettangolo campito, verso destra se la variazione indica un abbassamento del grado di permeabilità e verso sinistra se indica un innalzamento.

I colori delle campiture dei rettangoli simboleggianti le singole formazioni geologiche riportate nella legenda inerente il grado di permeabilità sono riferiti alla *Carta Geolitologica*.

8.6 Ubicazione Indagini Geognostiche, Geotecniche e Geofisiche [Tavola G07]

La *Carta dell’Ubicazione Indagini Geognostiche, Geotecniche e Geofisiche* di cui all’allegata Tavola G07, è redatta su base aerofotogrammetrica aggiornata all’anno 2000 ed è stata completamente elaborata in modo

informatico: la carta tematica viene restituita su n° 2 tavole d'insieme in scala 1:10.000 (G07.01 e G07.02) che coprono l'intero territorio comunale.

Essa riporta l'ubicazione di tutte le indagini esperite in ambito del territorio comunale esistenti agli atti del Comune di Benevento, nonché gli esiti di n° 6 sondaggi geognostici eseguiti specificamente nell'anno 2004 in ambito del centro urbano cittadino con finalità connesse alla elaborazione del presente studio; detti sondaggi, eseguiti a carotaggio continuo e conservazione di nucleo, sono stati spinti a profondità comprese tra 50 e 92 m dal piano di campagna.

La tavola in esame, pertanto, riporta complessivamente l'ubicazione di n° 257 sondaggi eseguiti, finalizzati sia alla realizzazione di opere pubbliche che di interventi privati, concentrati per la maggior parte in ambito urbano; detti sondaggi sono per la maggior parte eseguiti a carotaggio continuo e spinti a profondità comprese, nella norma tra 20 e 30 m dal piano di campagna.

Gli esiti di detti sondaggi hanno consentito di ricostruire, con sufficiente grado di dettaglio, le caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo urbano e delle aree limitrofe.

La legenda della *Carta* riporta con diversa simbologia e diverso cromatismo le varie tipologie di sondaggi presi in considerazione, e nel dettaglio gli stessi vengono suddivisi in n° 4 gruppi:

- 1) *Sondaggi geognostici;*
- 2) *Sondaggi geognostici nel corso dei quali si è provveduto al prelievo di campionatura in forma indisturbata;*
- 3) *Sondaggi geognostici in corrispondenza dei quali si è provveduto all'esecuzione di prova sismica in foro tipo "Down-Hole";*
- 4) *Sondaggi geognostici nel corso dei quali si è provveduto al prelievo di campionatura in forma indisturbata ed in corrispondenza dei quali si è provveduto all'esecuzione di prova sismica in foro tipo "Down-Hole".*

Si evidenzia che i sondaggi in corrispondenza dei quali è stata eseguita una prova sismica tipo “Down-Hole” sono riportati con campitura di colore azzurro, rispetto ai semplici sondaggi geognostici, in corrispondenza dei quali la campitura risulta di colore rosso.

Ai fini di una maggior facilità di lettura ed onde evitare sovrapposizioni e/o ripetizioni di denominazione, l’originaria definizione di tutti i sondaggi è stata sostituita da un specifico nuovo codice di identificazione e numerazione progressivo, da “SG-001” a “SG-257”.

Analogamente si è proceduto per quanto riguarda le prove sismiche eseguite in corrispondenza di n° 50 sondaggi geognostici, rinominando le stesse da “DH-001” a “DH-050”, così come chiaramente evincibile dalla legenda della *Carta* in oggetto.

8.7 Esiti Indagini Geognostiche, Geotecniche e Geofisiche [Tavola G08]

Gli *Esiti delle Indagini Geognostiche, Geotecniche e Geofisiche* la cui ubicazione viene riportata nella precedente Tavola G07, vengono rimessi in n° 4 fascicoli riportanti, nel dettaglio:

- ☑ L’elaborato *G08.01* contiene le stratigrafie originali dei n° 257 sondaggi geognostici utilizzati a supporto del presente studio; le stratigrafie originali riportano in sovrascrittura a colori il nuovo codice di identificazione e numerazione progressivo, da “SG-001” a “SG-257”, utilizzato ai soli fini del presente studio;
- ☑ L’elaborato *G08.02* contiene i certificati originali delle n° 50 prove sismiche “Down-hole” eseguite in ambito del territorio comunale ed utilizzate a supporto del presente studio; anche in tal caso i predetti elaborati riportano in sovrascrittura a colori il nuovo codice di identificazione e numerazione progressivo, da “DH-001” a “DH-050”, utilizzato ai soli fini del presente studio;

- ☑ Gli elaborati *G08.03* e *G08.04* contengono i certificati originali di laboratorio inerenti prove e determinazioni geotecniche eseguite su campioni indisturbati prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici utilizzati a supporto del presente studio, ovviamente ove nel corso dell'esecuzione degli stessi si è provveduto al prelievo di campionatura; i predetti certificati, come in precedenza, riportano in sovrascrittura a colori il nuovo codice di identificazione e numerazione progressivo assegnato ai sondaggi.

8.8 *Carta della Pericolosità Sismica [Tavola G09]*

La *Carta della Pericolosità Sismica* di cui all'allegata Tavola *G09*, è redatta su base aerofotogrammetrica aggiornata all'anno 2000 ed è stata completamente elaborata in modo informatico: la carta tematica viene restituita su singola tavola d'insieme in scala 1:20.000 (*G09*) ed in n° 27 tavole alla scala 1:4.000 (da *G09.01* a *G09.27*) che coprono l'intero territorio comunale seguendo la suddivisione della citata base cartografia aerofotogrammetria.

Come già innanzi evidenziato, con Delibera di G.R. Campania n° 5447, il *Comune di Benevento* veniva riclassificato come sismico di 1^a categoria; inoltre l'O.P.C.M. n° 3274 del 20.03.2003 suddivide l'intero territorio italiano in n° 4 zone sismiche in relazione ai valori dell'accelerazione di picco e le norme tecniche prevedono n° 4 valori corrispondenti di accelerazioni di ancoraggio (a_g/g) dello spettro di risposta elastico; per il *Comune di Benevento*, ricadente in zona 1, si ha $a_g/g = 0,35$.

Si rileva ancora che in una recente proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale elaborata dal "Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica" dell'I.N.G.V. e denominata *ZS9*, l'area sannita, e lo stesso *Comune di Benevento*, ricadono nella zona sismogenetica denominata "927", coincidente con il settore assiale della catena appenninica,

interessata da una serie di lineamenti tettonici attivi con meccanismi di fagliazione prevalenti di tipo diretto e profondità epicentrale compresa tra 8,00 e 12,00 km.

Infine nel gennaio 2003 la promulgazione dell'*Eurocodice 8* (*prEN1998-1 – Design of structures for earthquake resistance*) facente parte della nascente normativa europea, la cui impostazione è sostanzialmente recepita dalla O.P.C.M. n° 3274, cambia la tipologia di approccio nella valutazione della sismicità di un'area, in quanto tiene conto esclusivamente del moto sismico atteso (in termini di accelerazioni) e non degli effetti prodotti dalla stessa azione sismica.

Inoltre la norma europea tende alla definizione del valore di una accelerazione massima al termine del tragitto del treno d'onda dalla sorgente sismica alla superficie su di una formazione rigida affiorante, e tiene conto - con l'introduzione di un parametro definito " v_{s30} " e corrispondente alla velocità equivalente delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo (*average shear wave velocity*) - della presenza di terreni "sciolti" a bassa impedenza sismica a ricoprimento della formazione rigida, quindi del così detto "effetto locale", introducendo n° 7 classi di sottosuolo a rigidità decrescente.

Peraltro, è noto che fattori geomorfologici e stratigrafici locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico, filtrando le onde nel passaggio dal bedrock alla superficie: l'effetto di filtraggio conduce ad una redistribuzione dell'energia con l'amplificazione del moto vibratorio associato ad alcune frequenze.

Esistono diverse metodologie per la stima dell'amplificazione sismica in superficie: alcune sono basate sull'uso di modelli numerici sofisticati, che hanno portato allo sviluppo di programmi di calcolo utilizzabili per valutare gli effetti di sito sia in condizioni mono che bidimensionali; tali modelli, tuttavia, richiedono un input accurato, sia per quanto riguarda le

caratteristiche geotecniche del terreno, sia per quanto riguarda il moto sismico di riferimento e quindi risultano spesso di difficile applicabilità.

Sono note, tuttavia, in letteratura metodologie più speditive, classificate di “II° Livello” (*Manuale Internazionale TC4*), basate sulle caratteristiche lito-stratigrafiche del sito e sulla stima della velocità delle onde V_s nei livelli di copertura, che comunque determinano risultati accettabili e risultano applicabili nel caso specifico, essenzialmente in relazione alla tipologia del presente studio, di carattere urbanistico generale.

Uno dei metodi più diffusi, ed anche più rapidi per giungere ad una quantificazione numerica del valore dall’amplificazione sismica locale è quello proposto da *Medvedev* (o delle “rigidità sismiche”) che si basa sulla determinazione di due fattori di incremento sismico in termini di intensità: “ Nr ” ed “ Nw ”; si è ritenuto che la metodologia di approccio proposta dal *Medvedev*, seppure caratterizzata da indubbe lacune ed approssimazioni, risultasse la più idonea, in quanto consente, con l’utilizzo di formule semiempiriche e sulla scorta di risultati sperimentali (dedotti dalle prove sismiche eseguite), una discretizzazione monodimensionale della reale situazione stratigrafica di un sito, naturalmente più complessa.

L'intensità sismica dipende della *rigidità* (o *impedenza*) sismica, espressa come prodotto tra la velocità delle onde di taglio e la densità media della roccia. L'incremento di intensità sismica (Nr) che si produce al passaggio dell'impulso dal substrato roccioso (*bedrock*), caratterizzata da velocità V_{s0} e densità γ_0 - o, se assente, da un livello con $V_s > 700$ m/s (*bedrock-like*) - passando attraverso i sedimenti di copertura con velocità delle onde trasversali V_{sn} e densità γ_n rispetto al substrato roccioso, è espresso, secondo *Medvedev*, dalla relazione:

$$Nr = 1,67 * \text{Log} \frac{R}{R'} \quad \text{con}$$

$$R (\text{impedenza sismica bedrock}) = (V_{s0} * \gamma_0)$$

$$R' \text{ (impedenza sismica copertura)} = (V_{sn} * \gamma_n)$$

Nel caso di sedimenti di copertura dati da una successione di strati, la rigidità totale sarà data dalla media pesata delle impedenze sismiche dei singoli strati:

$$R' = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i * v_i * H_i}{H_{tot}} \quad \text{con}$$

n = numero degli strati della copertura

γ_i = peso di volume dello strato i -esimo

v_i = velocità delle onde di taglio nello strato i -esimo

H_i = potenza dello strato i -esimo

H_{tot} = potenza totale delle coltri di copertura

Le caratteristiche di risposta sismica del sito, inoltre, sono influenzate dalla presenza di falda idrica entro i primi 10 m di profondità; in tal caso è da computare un ulteriore incremento di intensità (N_w), che, secondo la relazione di *Medvedev*, è dato da:

$$N_w = e^{-0.04 * h^2} \quad (\text{con } h = \text{profondità falda})$$

Alcuni autori, inoltre, hanno proposto di inserire nella formulazione originale del *Medvedev*, ulteriori due fattori correttivi che tengano conto delle morfologia e della geometria del substrato:

$$N1 = 1 + \text{Log}_{10} (1 + \text{sen} \beta) \quad \text{con } \beta \text{ inclinazione media del pendio}$$

$$N2 = 1 + \text{Log}_{10} (1 + \text{sen} \alpha) \quad \text{con } \alpha \text{ inclinazione media del substrato di riferimento}$$

Pertanto, il valore dell'accelerazione sismica locale amplificata deriva dalla seguente relazione:

$$K_t = K_b * F_a \quad \text{dove:}$$

$$\Rightarrow K_t = \text{accelerazione sismica locale amplificata}$$

⇒ K_b = accelerazione di base, pari a 0.100 g in quanto il territorio comunale di Benevento è classificato come sismico di 1^a Categoria, tenendo presente che, secondo quanto riportato nell'Ordinanza Dipartimento Protezione Civile n° 2788/98, la massima intensità sismica osservato nel territorio Beneventano è pari a $I_{(MCS)} \geq 10$

⇒ F_a = fattore di amplificazione

Il Fattore di Amplificazione F_a segue la seguente legge sperimentale (da esperienze di IDRIS, DEZFULIAN, KANAI, SEED e ZINI):

$$F_a = [1 + \text{Log}(N_r + N_w)] * (N_1 * N_2)$$

Analogamente il valore dell'accelerazione di picco in superficie è dato da:

$$a_{max}(g) = a_{bedrock} * F_a$$

In particolare, per la determinazione dei coefficienti di risposta sismica dei sedimenti affioranti, ci si è avvalsi sui risultati sperimentali emersi dalle prove sismiche *Down-Hole* eseguite negli ultimi anni in ambito comunale beneventano, complessivamente n° 50 (Cfr. *Tavola G08.02*), la cui ubicazione è riportata nell'allegata *Tavola G07*.

Definito, pertanto, con il sistema della media ponderata, il valore della velocità di propagazione delle onde sismiche in ogni singolo litotipo affiorante in ambito comunale, sono stati definiti una serie di "orizzonti sismici" i quali, opportunamente correlati con le verticali di sondaggio disponibili (complessivamente n° 257), con le caratteristiche geotecniche di ogni singolo litotipo di cui al § 6, e con i fattori correttivi inerenti la morfologia e la geometria del substrato, hanno consentito la determinazione dei valori di risposta sismica locale.

L'applicazione di tale metodo con le modalità e le procedure dettagliatamente descritte ed operando le necessarie semplificazioni, conduce alla definizione di un range di variabilità del valore del *Coefficiente di Amplificazione Sismica Locale K_t* nell'ambito dell'area sottesa dal Piano

Urbanistico, sulla scorta del quale sono state individuate n° 4 microzone omogenee di risposta sismica, cartografate nell'allegata *Tavola G09*, alla quale si rimanda; le caratteristiche sismostratigrafiche di tali microzone sono dettagliatamente definite nella successiva *Tabella 10*.

Nell'utilizzo ai fini urbanistici dell'area sottesa dal *Piano Urbanistico* di cui alla presente relazione, pertanto, dovrà essere tenuto in debita considerazione quanto sin qui evidenziato, utilizzando, nei calcoli e nelle verifiche statiche, i valori di incremento sismico calcolati, con particolare riguardo al *Coefficiente di Amplificazione Sismica Locale Kt* che sostituisce, per l'area in studio, il coefficiente "C" previsto dalla normativa.

Pericolosità		Descrizione
MB	Medio Bassa	<p>Aree caratterizzate dall'affioramento di sedimenti flyschiodi a componente prevalentemente argilloso-marnosa e marnoso-calcareo e di sedimenti sabbioso arenacei, in assenza di significative coltri di copertura a bassa impedenza sismica.</p> <p>Assenza di significativa falda idrica superficiale.</p> <p>Fattore di amplificazione sismica $Fa < 1,100$</p> <p>Incremento intensità sismica locale $Nt < 1,259$</p> <p>Accelerazione sismica orizzontale $0,100 \leq Kt < 0,110$</p> <p>Accelerazione sismica amplificata superficiale $0,350 \leq Ag < 0,385$</p>
M	Media	<p>Aree caratterizzate dall'affioramento di sedimenti a componente prevalentemente sabbioso arenacea e conglomeratica, in assenza di significative coltri di copertura a bassa impedenza sismica; aree di affioramento di sedimenti flyschiodi con presenza di significative coltri di copertura a bassa impedenza sismica; rilievi isolati.</p> <p>Assenza di significativa falda idrica superficiale.</p> <p>Fattore di amplificazione sismica $1,100 \leq Fa < 1,200$</p> <p>Incremento intensità sismica locale $1,259 \leq Nt < 1,513$</p> <p>Accelerazione sismica orizzontale $0,110 \leq Kt < 0,120$</p> <p>Accelerazione sismica amplificata superficiale $0,385 \leq Ag < 0,420$</p>
MA	Medio Alta	<p>Aree caratterizzate dall'affioramento di sedimenti fluvio lacustri, di sedimenti conglomeratici ricoperti da potenti</p>

		<p>coltri di terreni di riporto, di depositi alluvionali a medio grado di addensamento, di depositi di versante da debris-flow e piroclastici residuali, in genere a bassa impedenza sismica.</p> <p>A luoghi presenza di falda idrica superficiale.</p> <p>Fattore di amplificazione sismica $1,200 \leq Fa < 1,300$</p> <p>Incremento intensità sismica locale $1,513 \leq Nt < 1,897$</p> <p>Accelerazione sismica orizzontale $0,120 \leq Kt < 0,130$</p> <p>Accelerazione sismica amplificata superficiale $0,420 \leq Ag < 0,455$</p>
A	Alta	<p>Aree caratterizzate dall'affioramento di sedimenti a componente prevalentemente argillosa in sfavorevoli condizioni morfologico giacitureali e di sedimenti fluvio lacustri a bassa impedenza sismica; aree di fondovalle caratterizzate dalla presenza di depositi alluvionali sciolti, a luoghi ricoperti da coltri di copertura e/o di riporto a bassa impedenza sismica.</p> <p>Presenza di significativa falda idrica superficiale.</p> <p>Fattore di amplificazione sismica $1,300 \leq Fa < 1,400$</p> <p>Incremento intensità sismica locale $1,897 \leq Nt < 2,380$</p> <p>Accelerazione sismica orizzontale $0,130 \leq Kt < 0,140$</p> <p>Accelerazione sismica amplificata superficiale $0,455 \leq Ag < 0,490$</p>
Aree Interessate da fenomeni di dissesto		<p>Aree interessate dalla presenza di fenomeni di dissesto in atto o quiescenti, tipo colamento o scivolamento traslazionale e/o rotazionale, nell'ambito delle quali sollecitazioni dinamiche di tipo sismico potrebbero favorire fenomeni di mobilitazione delle masse in equilibrio di tipo metastabile.</p>

Tabella 10 – Classi di Pericolosità Sismica

8.9 Classificazione del Sottosuolo ai sensi dell'O.P.C.M. 3274 [Tavola G10]

Disgiunta dalla *Carta della Pericolosità Sismica* per motivi di restituzione grafica, infine, la *Classificazione del Sottosuolo ai sensi dell'O.P.C.M. 3274* rimessa in Tavola G10 alla scala 1:20.000 riporta la suddivisione del territorio comunale in base alla velocità equivalente delle onde di taglio “*vs*” nei primi trenta metri di sottosuolo.

Così come prescritto dalla precitata Ordinanza il territorio comunale viene suddiviso in due classi, denominata rispettivamente “A” e “B”.

La classe di sottosuolo “A” comprende i sedimenti flyschiodi a componente prevalentemente argilloso-marnosa e marnoso-calcareo, nonché i sedimenti conglomeratici in assenza di significative coltri di riporto e/o di copertura: nell’ambito di detti sedimenti si registrano, nella norma, valori della velocità equivalente delle onde di taglio di $v_{s30} > 800$ m/sec.

La classe di sottosuolo “B” comprende ancora i sedimenti flyschiodi a componente prevalentemente argilloso-marnosa e marnoso-calcareo nonché i sedimenti conglomeratici, ma in presenza di significative coltri di riporto e/o di copertura; comprende i depositi sabbiosi e sabbioso arenacei, i depositi fluvio lacustri, i depositi alluvionali a medio grado di addensamento i depositi alluvionali sciolti, i depositi di versante e piroclastici residuali: nell’ambito di detti sedimenti si registrano, nella norma, valori della velocità equivalente delle onde di taglio compresi tra $360 < v_{s30} \leq 800$ m/sec.

9. CONCLUSIONI

Le indagini, dei rilievi e degli studi eseguiti, dettagliatamente descritti nella presente relazione e graficamente sintetizzati nella cartografia tematica prodotta, nonché l'esame comparato della precitata cartografia e dei dati geognostici, stratigrafici, geotecnici e di risposta dinamica ha consentito il computo qualitativo e quantitativo delle incidenze puntuali in termini di rischio geologico-sismico e, quindi, di utilizzo antropico dell'area sottesa dal Piano.

L'utilizzo urbanistico di aree in ambito del territorio comunale di Benevento è, comunque, subordinato alla stretta osservanza delle vigenti norme in materia di costruzioni in zone sismiche di 1^a Categoria, opportunamente integrate con quanto emerso dallo studio eseguito in ordine ai fattori di amplificazione sismica locali, di cui alla *Carta della Pericolosità Sismica*, nonché con le prescrizioni riportate nella presente relazione tecnica, facente parte integrante e sostanziale dello studio geologico.

Benevento, Febbraio 2006

Dott. Massimo Romito
Geologo