



PIANO REGOLATORE GENERALE

Approvato con deliberazione di C.C.n°del.....



I Borghi
più belli
d'Italia

Club di Prodotto art. 23 Statuto ANCI

REGIONE ABRUZZO
PROVINCIA DI TERAMO
COMUNE DI PIETRACAMELA
Parco Nazionale Gran Sasso Monti Della Laga

oggetto:

RELAZIONE GEOLOGICA

Il Sindaco

Dott. Antonio Di Giustino

I progettisti

- *Architetto Leo Medori* *(coordinatore del gruppo di progettazione)*
 - *Geologo Eustachio Pietromartire* *(analisi della struttura geomorfologica)*
 - *Architetto Gabriele Pietrinferni* *(pianificazione attuativa recupero degli ambiti edificati)*
- Consulenza di supporto sugli aspetti paesaggistici ed ambientali*
- *Architetto Romina Rauli*
 - *Architetto Raffaella Massacesi*
 - *Biologo Lino Ruggieri*
Consulenza per l'analisi geologica
 - *Geologo Leo Adamoli*

elaborato di analisi

7.1

scala

COMUNE DI PIETRACAMELA

Provincia di Teramo

Studio geologico, idrogeologico e geomorfologico del territorio comunale di Pietracamela

RELAZIONE

GEOLOGO

Dott. geol. Eustachio Pietromartire

CONSULENTE PER L'ANALISI GEOLOGICA

Dott. geol. Leo Adamoli

Pietracamela, AGOSTO 2010

INDICE

1. PREMESSA

2. GEOLOGIA

2.1. Paesaggio fisico ed inquadramento geologico

2.2. Caratteri litostratigrafici

2.2.1. Successione carbonatica mesozoica di paleopiattaforma

2.2.2. Successione carbonatica meso-cenozoica di base di scarpata e bacino prossimale

2.2.3. Successione cenozoica di rampa carbonatica e di avampaese

2.2.4. Depositi terrigeni sin-orogenici di avanfossa

2.2.5. Successione del Quaternario continentale

2.3. Assetto strutturale

2.4. Neotettonica e Rischio sismico

2.5. Caratterizzazione geotecnica

3. GEOMORFOLOGIA

3.1. L'evoluzione geomorfologica recente

3.2. Il glacialismo quaternario ed il Ghiacciaio del Calderone

3.3. Fenomeni franosi e Deformazioni Gravitative Profonde di Versante

3.3.1. Tipologia e distribuzione dei movimenti franosi

3.3.2. Evidenze di Deformazioni Gravitative Profonde di Versante

3.3.3. La frana di Pietracamela

4. IDROGEOLOGIA

4.1. Caratteri idrologici

4.2. Complessi idrogeologici

4.3. Idrostrutture e risorse idriche sotterranee

4.4. Assetto idrogeologico del versante dell'abitato di Pietracamela

5. RISCHI GEOLOGICI E PIANIFICAZIONE URBANISTICA: INDIRIZZI E CRITERI GENERALI

Autori citati

ALLEGATI

TAV 7.2 – CARTA GEOLOGICA

TAV 7.3 – SEZIONI GEOLOGICHE

TAV 7.4 – CARTA GEOMORFOLOGICA PAI

TAV 7.5 – CARTA PERICOLOSITÀ PAI

1. PREMESSA

L'Amministrazione comunale di Pietracamela, in relazione alla redazione del nuovo PRG ed alle varie attività istituzionali riguardanti interventi di tipo diverso sul territorio, ha promosso uno studio geologico, geomorfologico ed idrogeologico, con l'obiettivo di integrare le conoscenze già in possesso dell'Ente e relative sia a studi e ricerche di altri Enti ed Istituzioni Pubbliche che ad attività conoscitive specifiche fatte eseguire nel tempo dell'Amministrazione stessa.

Lo scopo dello studio è stato pertanto quello di fornire un esauriente quadro conoscitivo delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche di tutto il territorio comunale, nonché delle condizioni generali di rischio geologico, utile per:

- verificare le potenzialità d'uso del territorio nei riguardi degli strumenti urbanistici o comunque di altre ipotesi di intervento;
- individuare le eventuali problematiche geomorfologico-ambientali che possono influire sulle scelte di assetto del territorio;
- predisporre interventi finalizzati al recupero ed alla riqualificazione ambientale e territoriale;
- valorizzare la presenza di georisorse, con particolare riferimento ai beni culturali a carattere geologico e geomorfologico (geositi e geomorfositi);
- valutare e programmare interventi di difesa del suolo e di uso sostenibile delle georisorse.

Il lavoro di ricerca e di analisi, da poco completato, è stato articolato nelle seguenti tre fasi principali:

1. Ricerca bibliografica e cartografica con raccolta ed analisi di tutti i dati geologici, geomorfologici, idrogeologici e geologico-tecnici, relativi a tutto il territorio comunale, tratti sia dalla letteratura scientifica e da studi inediti sia da lavori professionali ritenuti attendibili.
2. Rilevamenti geologici e geomorfologici di verifica, finalizzati all'elaborazione di un'adeguata documentazione cartografica di tipo operativo.
3. Interpretazione ed elaborazione di tutti i dati raccolti e stesura della "*Carta geologica*" alla scala 1:10.000.

La **Carta geologica** (scala 1:10.000), allegata alla presente Relazione, definisce le caratteristiche litostratigrafiche e strutturali del territorio comunale e rappresenta pertanto il necessario riferimento ed orientamento per eventuali altre carte tematiche. Essa fornisce informazioni di dettaglio circa la natura litologica, la genesi, l'età, la distribuzione areale e gli spessori delle formazioni geologiche affioranti e dei depositi continentali quaternari cartografabili, ponendone altresì in evidenza le condizioni giacitureali ed i caratteri macro e meso-strutturali. Sempre nella *Carta geologica* sono stati inoltre cartografati i vari corpi di frana con relativi orli di scarpata e sono state individuate le aree interessate da Deformazioni Gravitative Profonde di Versante (DGPV).

Qui di seguito, utilizzando per quanto possibile un linguaggio non eccessivamente specialistico, saranno riassunti i risultati principali dello studio, ponendo in particolare evidenza le complesse condizioni di rischio geologico.

2. GEOLOGIA

2.1. Paesaggio fisico ed inquadramento geologico

Il territorio comunale di Pietracamela è caratterizzato dalla presenza del settore centrale del massiccio carbonatico del Gran Sasso d'Italia, il *Fiscellus mons* dell'antichità classica, che con la sua imponenza, le sue caratteristiche geoambientali prettamente "alpine", i suoi grandiosi paesaggi di incommensurabile bellezza e di straordinario interesse scientifico, domina in termini percettivi l'intero Abruzzo.

Si tratta di un settore ad andamento circa E-W, che comprende le cime più elevate della catena (Corno Grande, m 2912; Corno Piccolo, m 2655; Pizzo d'Intermesoli, m 2635), accoglie appena sotto la vetta del Corno Grande, il Ghiacciaio del Calderone, l'unico dell'Appennino, ed incombe con pareti ripide, a tratti verticali e di notevole altezza e spettacolarità, sulla fascia collinare pedemontana, essenzialmente terrigena silicoclastica, caratterizzata da morfologie più dolci.

Le conche intermontane di Campo Pericoli e del Venacquaro, poste nel cuore del massiccio carbonatico, si aprono verso nord e quindi verso gli abitati di Pietracamela e di Intermesoli, attraverso lunghe e profonde valli modellate in passato dai ghiacciai quaternari: la Val Maone – Valle del Rio Arno e la Valle del Venacquaro.

Nel settore più orientale del territorio comunale si erge inoltre la dorsale carbonatica del Montagnone, profondamente incisa a nord dal fiume Vomano e che raggiunge la massima elevazione con Cima Alta (1715 m), in prossimità del fronte della catena del Gran Sasso d'Italia. Tale rilievo, ad andamento all'incirca meridiano, costituisce la prosecuzione verso sud della dorsale carbonatica dei Monti Gemelli (Montagna dei Fiori e Montagna di Campoli).

L'assetto geologico-strutturale del territorio di Pietracamela è il risultato dell'evoluzione prevalentemente mio-pliocenica di un sistema orogenico (catena - avanfossa - avampaese) con vergenza adriatica. In particolare, l'evoluzione geodinamica del settore centro-appenninico di cui il territorio in esame fa parte, è stata essenzialmente controllata dalla presenza di due unità paleogeografico-strutturali (Piattaforma carbonatica laziale-abruzzese e Bacino pelagico umbro-marchigiano), che si sono sviluppate a partire dal Trias superiore sul margine meridionale passivo dell'antico oceano Tetide in fase di espansione, e dalla cui interazione, nella successiva fase compressiva mio-pliocenica è nata quella parte

dell'Appennino centrale, il cui settore in studio costituisce indubbiamente una delle aree più complesse ed interessanti sotto il profilo scientifico.

In tale settore s'individua, infatti, un complesso edificio a *thrust* rappresentato dalla sovrapposizione, tramite importanti sovrascorrimenti, di tre principali unità stratigrafico-strutturali, a loro volta suddivise in unità minori da altri sovrascorrimenti.

Le unità in questione sono: L'*Unità del Gran Sasso*, che è quella più alta ed interna, l'*Unità della Laga*, in posizione intermedia, e l'*Unità del Cellino* che costituisce l'elemento inferiore e più esterno. L'*Unità del Gran Sasso*, costituita esclusivamente da depositi carbonatici, è giustapposta sull'*Unità della Laga*, costituita da depositi torbiditici silicoclastici, tramite un piano di sovrascorrimento a direzione circa E-W e con entità di rigetto che aumenta da ovest verso est. A sua volta, l'*Unità della Laga* si è accavallata sulla più esterna *Unità del Cellino* attraverso un piano a direttrice N-S (*thrust di Teramo*).

2.2. Caratteri litostratigrafici

Il territorio di Pietracamela è caratterizzato dalla presenza di rocce sedimentarie depositatesi in un generale ambiente marino durante un lungo intervallo di tempo che va dal Lias inferiore, circa 200 milioni di anni orsono, al Miocene superiore circa 7 milioni di anni fa.

In linea generale è possibile distinguere (Allegato 1):

- una successione più antica meso-cenozoica, esclusivamente di natura carbonatica, costituita da formazioni calcareo-dolomitiche, calcareo-micritiche, calcareo-clastiche e calcareo- marnose, affioranti sulla catena del Gran Sasso d'Italia e sulla dorsale del Montagnone;
- una successione miocenica costituita da depositi terrigeni torbiditici (arenarie, marne ed argille) affioranti nel settore pedemontano.

Tali successioni, analizzate qui di seguito a partire dalle formazioni geologiche più antiche, sono riferibili a due distinti cicli sedimentari e presentano, al loro interno, notevoli variazioni di facies e di spessori determinati dalle deformazioni tettoniche che nel tempo hanno condizionato in modo determinante gli ambienti di sedimentazione.

In particolare la successione carbonatica, spesso migliaia di metri, è inizialmente (Trias superiore- Lias inferiore) riferibile ad un ambiente di paleopiattaforma carbonatica di

acque marine basse, estesa in tutto l'attuale Appennino centrale, nota in letteratura come *Piattaforma carbonatica laziale-abruzzese*. Successivamente, all'inizio del Lias medio, poco meno di 200 milioni di anni fa, un'intensa fase tettonica distensiva connessa all'ampliamento del Mare Tetide, causò la frammentazione e quindi l'annegamento di una vasta porzione della paleopiattaforma carbonatica, dando origine ad una zona depressa, caratterizzata da un mare aperto e profondo, nota in letteratura come *Bacino pelagico umbro-marchigiano-sabino*. In questo momento, l'attuale area del Gran Sasso venne a trovarsi ai piedi della scarpata di faglia che raccordava bruscamente la piattaforma carbonatica che permaneva a sud, con il bacino pelagico che si estendeva verso nord.

2.2.1. Successione carbonatica mesozoica di paleopiattaforma

Ben esposta sulle pareti del Corno Grande, la successione raggiunge uno spessore complessivo di circa 1200 m ed è costituita dalla *Dolomia Principale* (Trias superiore), affiorante però solo sulla grandiosa parete SE del Corno Grande (Allegato 2) e quindi appena al di fuori del territorio comunale di Pietracamela, alla quale segue, in modo sfumato e graduale e con uno spessore di circa 600 m, il *Calcare Massiccio*, le cui caratteristiche litostratigrafiche saranno descritte qui di seguito assieme a tutta la restante sequenza carbonatica.

Calcare Massiccio CM (Lias inferiore).

La formazione è costituita da prevalenti calcari ciclotemici biancastri e nocciola in strati e banchi, con frequenti livelli oolitici e pisolitici e con strati parzialmente dolomitizzati ed alcuni banchi ruditici alla base. Affiorante sul Corno Grande, la formazione è inoltre caratterizzata dalla presenza di caratteristici “filoni sedimentari” a sezione triangolare chiusa verso il basso, orientati all'incirca E-W, larghi da 0,5 cm fino ad oltre 10 metri e lunghi fino a 600 metri. La profondità massima è di circa 30 m ed il riempimento è costituito sia da micrite dolomitizzata riferibile alla *Corniola* (Passo del Cannone, Conca degli Invalidi, ecc.) sia da breccie cementate rossastre e verdastre con clasti riferibili alla *Scaglia bianca*, *Scaglia rossa* e *Scaglia cinerea* (Vetta occidentale, testata Ghiacciaio del Calderone, Torrione Cambi). Il contenuto fossilifero è dato soprattutto da Alghe calcaree e Foraminiferi bentonici.

2.2.2. Successione carbonatica meso-cenozoica di base di scarpata - bacino prossimale

Corniola CO (Lias medio)

Affiora, insieme al *Verde Ammonitico*, fra il Corno Grande ed il Corno Piccolo con uno spessore ridotto (60-70 m) e, nei pressi della Sella dei due Corni è caratterizzata da calcari micritici grigio-scuri in strati sottili, con selce in noduli e lenti. Più ad ovest, nella parte bassa della Valle dei Ginepri, lo spessore aumenta (circa 500 m) e la formazione presenta la tipica litofacies bacinale caratterizzata da calcari micritici nocciola in strati medio-sottili con selce grigia, nera e rossastra ed intercalazioni di strati e banchi di biocalcareni e calciruditi torbiditiche. Nelle micriti è presente la classica biozona a Radiolari e spicole di Spugne. Al Corno Grande, ad ovest della vetta occidentale ed a nord della vetta orientale, estesi lembi residui di *Corniola* dolomitizzata ricoprono in discordanza il *Calcare Massiccio*. Le brusche variazioni laterali della formazione, infine, testimoniano l'articolata morfologia del substrato carbonatico (presenza dell'alto strutturale del Corno Grande), legata al *rifting* giurassico.

Verde Ammonitico VA (Lias superiore - Dogger p.p.)

Affiorante con uno spessore che aumenta da ovest verso est fino ad un massimo di circa 90 m, la formazione è costituita da strati sottili di calcari micritici con selce in liste e noduli, ed intercalazioni di marne verdastre, calcari marnosi nodulari, calcari bioclastici e caratteristici livelletti oolitici rossastri (Sella dei due Corni). Il contenuto fossilifero è caratterizzato dalla comparsa della biozona a "resti filamentosi" (Lamellibranchi pelagici a guscio fine) e dalla presenza di *Rhynchonelle* (Brachiopodi) ed Ammoniti.

Calcari bioclastici inferiori CBi (Dogger p.p. - Malm p.p.)

Questa formazione, che affiora con uno spessore di oltre 400 metri, costituisce la parte sommitale a morfologia più aspra del Corno Piccolo ed è caratterizzata da spessi banchi amalgamati di calcari bioclastici biancastri e nocciola, a volte oolitici soprattutto nella parte inferiore, inglobanti, a luoghi, brandelli di micrite e, più diffusamente, di selce. Il contenuto fossilifero è costituito da abbondanti resti di Ellipsactinie, Coralli, Alghe calcaree ed Echinodermi.

Calcari diasprigni CD (Malm p.p.)

Affiorante soprattutto nell'area di Pizzo d'Intermesoli con uno spessore medio di circa 150 m, la formazione è costituita da un'alternanza tra strati sottili di calcari micritici nocciola e strati più spessi di calcareniti bioclastiche a frammenti di Echinidi, Coralli ed Ellipsactinie, con abbondanti livelli di selce chiara e rosata. Tutta la serie presenta una diffusa dolomitizzazione oltrechè un'evidente silicizzazione.

Maiolica detritica MD (Malm p.p. - Cretaceo inferiore p.p.)

Affiora con uno spessore variabile ma che in media si aggira intorno ai 300 m ed è litologicamente costituita da calcari micritici bianco-avorio e grigio-chiaro a frattura concoide, in strati medio-sottili, con selce bianca, nera, rosata e violetta in noduli, lenti e straterelli, alternati a strati e banchi calcarenitici e biocalcarenitici biancastri, talora torbiditici. Caratteristica è la comparsa, nei livelli micritici, di microforaminiferi planctonici tipo Tintinnidi (*Calpionelle*).

Calcari bioclastici superiori CBs (Cretaceo inferiore p.p.)

La litologia di questa formazione, affiorante nell'area del Corno Piccolo con uno spessore di alcune decine di metri, è caratterizzata da calcareniti e calciruditi bioclastiche biancastre e nocciola in banchi spesso amalgamati, talora lenticolari e di notevole spessore (fino a 10 m), alternate a calcari micritici, talora laminati. Fra i macrofossili compaiono i primi frammenti di Rudiste e sono altresì osservabili resti di Coralli, Briozoi e Orbitolinidi.

Calcareniti e calciruditi a fucoidi CF (Cretaceo inferiore p.p. - Cretaceo superiore p.p.)

Affiorante, insieme alla *Scaglia detritica*, nel settore occidentale dell'area montana in studio (area di Pizzo d'Intermesoli), la formazione è prevalentemente costituita da calcareniti e calciruditi bioclastiche da fini a grossolane di colore grigio-nocciola e con frammenti di Rudiste ed Orbitoline, alternate a calcari marnosi fogliettati verdastri, con livelli sottili di selce nera. Lo spessore, lungo la Valle del Rio Arno, si aggira intorno ai 60 metri.

Scaglia detritica SD (Cretaceo superiore p.p. – Eocene inferiore)

La caratteristica di questa formazione, che domina nell'area di Pizzo d'Intermesoli con uno spessore complessivo di circa 500 m, è l'abbondante contenuto di calcareniti bioclastiche. I calcari micritici, prevalentemente biancastri e verdastri, sono infatti sempre subordinati alle calcareniti, e la colorazione dei noduli e livelli di selce nera e rossa rappresenta un elemento

chiave per distinguere all'interno della formazione gli intervalli equivalenti, rispettivamente, alla *Scaglia bianca* ed alla *Scaglia rossa*. Il passaggio laterale fra le suddette formazioni è osservabile lungo la Valle del Rio Arno, sul versante orientale del Pizzo d'Intermesoli. Il diverso contenuto in depositi risedimentati (calcareniti e calciruditi) ha consentito di distinguere cinque membri all'interno di questa formazione, e caratteristico è il cosiddetto *membro Orfento*, rappresentato da banchi plurimetrici, massivi ed amalgamati di calcareniti bioclastiche, saccaroidi, bianche e giallastre. Fra i macrofossili, caratteristica è la presenza di *Nummuliti*, *Discocycline* e *Lithotamni*.

Scaglia bianca SB (Cretaceo superiore p.p.)

Presente esclusivamente nel settore più orientale (Corno Piccolo), con uno spessore complessivo inferiore a 100 m, è costituito da un *membro calcarenitico* formato da banchi bioclastici con micriti grigiastre e biancastre e livelli di selce nera, e da un *membro micritico* costituito da strati medio-sottili di calcari micritici bianchi con livelli e liste di selce nera. All'interno di quest'ultimo membro, in località Rio Arno, è riconoscibile il "livello Bonarelli", molto noto in letteratura, spesso circa 60 cm. Il contenuto micropaleontologico è dato dalla presenza di *Globotruncane*.

Scaglia rossa SR (Cretaceo superiore p.p. - Eocene inferiore)

Affiorante sempre nel settore orientale dell'area in esame, è costituita da tre membri (micritico, calcarenitico e marnoso-micritico), che a Valle del Rio Arno raggiungono uno spessore complessivo di circa 300 m. Nel complesso, la formazione è litologicamente caratterizzata dalla prevalenza di strati medio-sottili di calcari micritici rosati con selce rossa in liste e noduli, ai quali si intercalano, a diversi livelli, calcareniti fini. La componente marnosa è maggiormente accentuata nella parte terziaria della formazione.

Scaglia cinerea SC (Eocene medio - Oligocene)

La formazione presenta uno spessore di circa 100 m, che si riduce notevolmente a NE di Corno Piccolo, nei pressi della "Madonnina". La litologia è costituita da alternanze di marne calcaree verdastre, sottili straterelli micritici verdastri e bianchi e frequenti intercalazioni di strati medio-spessi di calcareniti e calciruditi biancastre, più frequenti verso la base. Il contenuto fossilifero è rappresentato da macroforaminiferi (*Lepidocycline*, *Heterostegine*, *Discocycline*, *Asterocycline* e *Nummuliti*).

2.2.3. Successione cenozoica di rampa carbonatica e di avampaese

Calcareniti glauconitiche CG (Miocene inferiore)

Questa formazione, affiorante con uno spessore variabile da 50 a poco più di 100 m, è costituita da strati e banchi di calcareniti grigio-verdastre con abbondanti granuli di glauconite e con selce nera e grigiastra in lenti e noduli. Il contenuto fossilifero è dato essenzialmente da macroforaminiferi (Miogypsinidi e Rotaliidi) e spicole di Spugne.

Marne con cerroigna (Miocene medio)

La formazione, piuttosto estesa sul versante di Pietracamela, presenta in generale uno spessore variabile da 90 m (serie rovesciata dei Prati di Tivo) a 700 m (anticlinale del Montagnone), ed è caratterizzata dalle seguenti due distinte litofacies:

litofacies marnoso-calcarenitica (MCa): è costituita da marne, marne-calcaree grigio-verdi e grigio-avana notevolmente scagliose, e marne-argillose a foraminiferi planctonici, con intercalazioni di calcareniti in strati medi e sottili a granulometria da molto fine a media.

litofacies calcarenitico-calciruditica (MCb): è caratterizzata da calcareniti e calciruditi flussotorbidity in strati e banchi, di colore grigio e nocciola, con resti spongolitici e glauconite rimaneggiata, e marne calcaree di colore grigio con piste di limivori. E' altresì presente un intervallo di prevalenti calcareniti con frammenti di Pectinidi, Lamellibranchi ed Ostreidi.

Argille ad Orbulina AO (Tortoniano p.p. – Messiniano p.p.)

E' costituita da marne argillose e siltiti marnose di colore da grigio-azzurro a grigio-scuro, sottilmente stratificate e laminate e ricche di Foraminiferi planctonici, Pteropodi e Radiolari. Alla base possono essere presenti sottili intercalazioni di calcari marnosi e marne calcaree ricchi in glauconite e tracce fossili. Affiorano con uno spessore modesto generalmente compreso tra 10 e 30 m, anche se, nell'area dell'abitato di Pietracamela, dall'analisi dei sondaggi geognostici eseguiti nel passato, risulta uno spessore variabile da 2 a 10 metri. La formazione presenta, a luoghi, parziali rapporti di eteropia sia con le sottostanti *Marne con cerroigna* sia con la sovrastante *Formazione della Laga*.

2.2.4. Depositi terrigeni sin-orogenici di avanfossa

Formazione della Laga – membro del Lago di Campotosto (Messiniano p.p.)

La *Formazione della Laga* è costituita, in generale, da un corpo arenaceo torbido di notevoli dimensioni, di forma lenticolare e con uno spessore che può superare i 3000 metri. Caratterizza questo corpo sedimentario, un insieme di associazioni litologiche (arenacea, arenaceo-pelitica, pelitico-arenacea e pelitica) che presentano rapporti variabili sia in senso verticale che laterale. L'evoluzione complessiva della sedimentazione mostra comunque, in generale, una tendenza alla diminuzione verso l'alto della granulometria, dello spessore degli strati e del rapporto arenaria/argilla. All'interno della formazione sono distinguibili, dal basso verso l'alto, tre membri principali (*membro del Lago di Campotosto*, *membro gessoarenitico* e *membro di Teramo*), ed il *membro del Lago di Campotosto*, che rappresenta la porzione basale della formazione, è l'unico affiorante nel territorio comunale di Pietracamela. Esso è costituito da un insieme di associazioni litologiche, che possono essere così sinteticamente descritte:

associazione pelitico-arenacea (LA₁): strati sottili pelitico-arenacei con intercalazioni, a diverse altezze, di orizzonti arenaceo-pelitici in strati medi e con la porzione arenacea completamente laminata (rapporto S/A < 1).

associazione arenaceo-pelitica I (LA₂): alternanza abbastanza regolare di orizzonti arenacei tabulari in strati spessi e molto spessi, ed orizzonti arenaceo-pelitici in strati medi, paralleli, con buona continuità, che presentano in genere la sequenza completa di Bouma (rapporto S/A compreso tra 3 e 10);

associazione arenaceo-pelitica II (LA₃): orizzonti arenaceo-pelitici in strati tabulari medi e spessi, con in genere una porzione gradata inferiore ed una laminata superiore (sequenza completa di Bouma) o solo quella laminata superiore (rapporto S/A compreso tra 1 e 3);

associazione arenacea (LA₄): arenarie in strati spessi e grossi banchi (fino a 5 metri di spessore), amalgamati o separati da sottili intercalazioni pelitiche, con geometria sia tabulare che lenticolare su media scala. Gli strati di maggiori dimensioni sono in genere massivi, senza un'apprezzabile gradazione interna ed occasionale sviluppo al tetto di laminazione ondulata, convoluta e/o incrociata (rapporto S/A >> 1).

2.2.5. Successione del Quaternario continentale

In discordanza sui vari termini delle successioni descritte si rinvengono, infine, procedendo da quelli più antichi, i seguenti vari depositi continentali, riferibili al Pleistocene medio e superiore ed all'Olocene, connessi con le fasi climatiche freddo-aride del Quaternario.

Sintema di Arapietra SA₁ – SA₂ (Pleistocene inferiore – medio p.p.)

Si tratta dei depositi quaternari più antichi presenti nell'area in studio, affioranti esclusivamente nella località omonima con uno spessore di circa 100 m. La successione, ben esposta lungo il crinale che attraverso l'Albergo diruto porta alla Madonnina, è prevalentemente costituita da clasti eterometrici, poligenici, soprattutto calcarei, raramente arenacei di dimensioni più ridotte e meglio arrotondati (SA₁). Il deposito, in giacitura sub-orizzontale e con una forte variabilità laterale e verticale di facies, è molto cementato, con strati da sottili a molto spessi che in superficie si presentano talora parzialmente carsificati. Nella parte bassa della sequenza si osservano alternanze di strati spessi e molto spessi, ben cementati, costituiti da ghiaie grossolane e massi sub-arrotondati con matrice calcarea siltosa bianca, mentre nella porzione sommitale sono presenti circa 15-20 m di ghiaie medio-grossolane, ben classate e sub-arrotondate, in livelli molto sottili, con scarsa matrice sabbiosa calcarea, molto cementati e ben osservabili nei pressi della Pietra della Luna (SA₂). La facies prevalente è di origine glaciale (*till* indifferenziato), e il rilievo dell'Arapietra potrebbe quindi rappresentare un argine morenico laterale di un ghiacciaio alimentato dai circhi del Corno Grande-Corno Piccolo (Calderone-Valle delle Cornacchie), mentre i sottili livelli ghiaiosi sommitali testimoniano processi fluvio-glaciali legati al ritiro del ghiacciaio stesso.

Sintema di Pietracamela SP₁ – SP₂ (Pleistocene medio p.p.)

Costituito da depositi glaciali, detritici e di conoide alluvionale, è ben esposto con morfologie rupestri appena a monte dell'abitato di Pietracamela, in destra idrografica del Rio Arno, con una sequenza spessa circa 70 m costituita da ghiaie e brecce calcaree fortemente cementate e grossolanamente stratificate che si estende per circa 3 km a formare la dorsale di Peschio la Pronca – Capo le Vene (SP₁). La base del deposito, mascherata da accumuli detritici originatisi per frane successive, corrisponde ad una superficie di erosione formatasi a spese del substrato costituito dalla *Formazione della Laga - membro del Lago di Campotosto* e dalle *Marne con cerroigna*. Il deposito è caratterizzato da un'alternanza irregolare di facies

con frequenti variazioni laterali e verticali. La litofacies prevalente è costituita da breccie fortemente cementate, in strati molto spessi, generalmente massivi, costituite da clasti calcarei eterometrici, che raggiungono dimensioni metriche, angolosi e raramente sub-arrotondati, con proporzioni variabili di matrice siltosa biancastra. Sono altresì presenti intercalazioni di ghiaie eterometriche fino ai blocchi, da angolose a sub-arrotondate, in strati da medi a sottili, e breccie angolose da fini a molto grossolane con contenuto variabile di matrice calcarea sabbioso-limosa. Nella parte alta della sequenza sono presenti (località Calderotto) depositi ben cementati costituiti da ghiaie e breccie eterometriche con clasti sub-arrotondati ed abbondante matrice siltoso-sabbiosa (SP₂). La parte bassa della sequenza è prevalentemente di origine glaciale anche se le alternanze con depositi gravitativi indica una rapida variazione nello spazio e nel tempo degli ambienti deposizionali, probabilmente in connessione con le avanzate e i ritiri del ghiacciaio della Val Maone – Rio Arno. Il crinale a ridosso di Pietracamela rappresenta quindi essenzialmente un argine morenico laterale il cui apparato frontale è stato successivamente demolito dall'erosione fluviale. I depositi erano naturalmente estesi su un'area più vasta, come testimoniano i lembi residui affioranti per esempio a Colle Cepito ed a Colle Croce Albaneto. Al ritiro dei ghiacciai è seguita la deposizione dei sedimenti detritici e di conoide alluvionale presenti nella parte alta della sequenza

Sistema di Campo Pericoli SC₁ – SC₂ (Pleistocene superiore)

Poco diffuso nell'area in studio, è prevalentemente costituito da depositi eterometrici massivi o grossolanamente stratificati, con dimensioni dai blocchi alle ghiaie fini, con clasti da angolosi a sub-arrotondati e quantità variabili di matrice calcarea sabbioso-siltosa (SC₁). Affioramenti limitati di detriti di falda costituiti da breccie eterometriche angolose e sub-angolose con contenuto variabile di matrice sabbioso-siltosa bruno-rossastra, più o meno stratificate e cementate sono osservabili ai Prati di Tivo (SC₂).

Depositi olocenici (Olocene - attuale)

I depositi olocenici, piuttosto diffusi in tutto il territorio comunale di Pietracamela, possono essere così brevemente descritti:

depositi di versante; depositi di versante a grossi blocchi (OLOa₁): depositi accumulati ai piedi dei versanti per azione prevalente della gravità o per ruscellamento e costituiti da clasti eterometrici e matrice a prevalente composizione calcarea o terrigena a seconda della natura del substrato. Spesso, come lungo il versante di Pietracamela, è presente un'estesa copertura detritica

costituita da clasti eterometrici fino alle dimensioni di grossi blocchi, poligenici, con quantità variabile di matrice siltoso-sabbiosa e cementazione generalmente scarsa, la quale si è messa in posto attraverso meccanismi di degradazione delle scarpate strutturali e per successivi fenomeni franosi. In particolare, proprio nell'area dell'abitato di Pietracamela, sulla base dei dati emersi dai sondaggi geognostici, è stato possibile accertare una certa variazione litologica del suddetto deposito, fra le due parti dell'abitato, suddivise dal Rio la Porta, affluente di destra del Rio Arno, che incide profondamente il versante. Nel nucleo antico dell'abitato (La Terra), posto a SW del Rio la Porta, i clasti fino agli enormi blocchi rocciosi sono essenzialmente carbonatici, con matrice a prevalente composizione calcarea, in quanto provenienti dalla demolizione delle breccie calcaree di Capo le Vene. Nella parte più recente del paese (La Villa), a NE del Rio la Porta, invece, prevalgono clasti e grandi blocchi arenacei, nonché una matrice prevalentemente siltoso-sabbiosa e limoso-argillosa, in quanto questa parte del versante è stata essenzialmente alimentata dalla degradazione di scarpate arenacee e pelitico-arenacee. Sempre nell'area dell'abitato, il substrato del deposito di versante a grossi blocchi, così come risulta dai sondaggi geognostici, è costituito dalle *Argille ad Orbulina*, e lo spessore varia all'incirca dai 10-30 metri a "La Villa" fino a superare i 40 m nel nucleo antico "La Terra".

detriti di falda; detriti di falda a grossi blocchi (OLOa2): costituiscono le estese falde ai piedi delle pareti calcaree (Campo Pericoli, Val Maone, Valle del Venacquaro) e sono caratterizzate anche dalla presenza di numerosi ed estesi coni detritici (Il Brecciarone). Generalmente sono costituiti da clasti eterometrici, fino alle dimensioni dei blocchi, poligenici, con quantità variabile di matrice siltoso-sabbiosa e cementazione generalmente scarsa.

depositi di frana (OLOa3): materiali mobilizzati da fenomeni gravitativi, spesso di grandi dimensioni, avvenuti in passato, a volte ancora soggetti a movimenti, diffusamente presenti in tutto il territorio, in particolare sui versanti settentrionali di natura terrigena e soggetti a forte approfondimento vallivo. Un esempio è rappresentato proprio dal versante di Pietracamela, dove il deposito di versante a grossi blocchi, compreso tra la dorsale di Collelungo ed il Rio Arno è stato mobilizzato, a partire all'incirca dalla base di Colle Cepito – Capo le Vene fino alla confluenza del Fosso Cannavine nel Rio Arno, da fenomeni franosi avvenuti in

passato in concomitanza del forte approfondimento vallivo, ed in parte ancora attivi.

depositi alluvionali ghiaiosi (OLOb₁): depositi alluvionali costituiti da ghiaie poligeniche, sabbie e silt; i clasti sono generalmente arrotondati e sub-arrotondati. Poco diffusi nell'area in esame, possono passare lateralmente a depositi di versante.

coltri eluvio-colluviali (OLOb₂): prevalentemente legati ai processi di erosione del suolo, costituiscono il riempimento di vallecole e depressioni chiuse e sono costituite da depositi siltoso-sabbiosi, con clasti centimetrici calcarei e arenacei dispersi all'interno della frazione fine.

morene frontali e di ritiro del Ghiacciaio del Calderone (OLOc₁): all'interno dei circhi settentrionali del Corno Grande sono conservati i depositi del Ghiacciaio del Calderone, come per esempio la morena fronto-laterale, alta fino a 40 m ed addossata sulla soglia rocciosa del circo prospiciente la Valle delle Cornacchie, e costituita da un accumulo detritico molto grossolano con grandi massi striati ed abbondante matrice siltoso-sabbiosa. All'interno del deposito si possono altresì osservare lembi irregolari di paleosuoli organici di colore nerastro. Lembi di depositi glaciali, legati alle oscillazioni oloceniche del Ghiacciaio del Calderone, si rinvencono inoltre lungo la Valle delle Cornacchie sottesa dal circo, a quota 2350 e 2400 m s.l.m., nei pressi del Rifugio Franchetti.

depositi crionivali (OLOc₂): alle quote più elevate della catena, come per esempio all'interno dei circhi glaciali del Monte Portella e del Pizzo Cefalone, si possono osservare depositi crio-nivali che costituiscono nivo-morene con caratteristici archi disposti parallelamente al versante.

2.3. Assetto strutturale

Il territorio del comune di Pietracamela è posto in un settore di catena corrispondente, come già visto, alla complessa zona di transizione tra la Piattaforma carbonatica laziale abruzzese a sud ed il Bacino pelagico umbro-marchigiano a nord e costituisce la zona di interferenza tra il fronte di sovrascorrimento del Gran Sasso orientato all'incirca WNW-ESE e la struttura plicativa ad andamento N-S della dorsale Monti Gemelli – Montagnone.

In particolare si possono distinguere due principali unità tettonico-stratigrafiche, a loro volta suddivise in unità minori da altri sovrascorrimenti: l'*Unità del Gran Sasso* a sud e l'*Unità della Laga* a nord, le quali costituiscono parte integrante dell'edificio tettonico dell'Appennino centrale esterno, strutturatosi nel Miocene superiore - Pleistocene inferiore, in seguito all'evoluzione di un sistema orogenico (catena-avanfossa-avampaese) con migrazione delle deformazioni compressive dai settori più occidentali tirrenici verso quelli orientali adriatici, sul quale si sovrappone successivamente la tettonica distensiva associata all'apertura del Mar Tirreno, anch'essa in migrazione da ovest verso est.

L'*Unità del Gran Sasso* costituisce una complessa e spettacolare struttura carbonatica a direzione WNW-ESE, accavallata sull'*Unità della Laga* a direzione N-S, litologicamente caratterizzata dalle torbiditi silicoclastiche della *Formazione della Laga* e naturalmente dalle *Argille ad Orbulina* e dalle *Marne con cerrognia*, tra l'altro presenti anche nell'immediato sottosuolo del versante dell'abitato di Pietracamela.

Proprio nel territorio comunale in esame, emerge l'imponenza e la grandiosità dell'edificio strutturale dell'*Unità del Gran Sasso*, il cui assetto generale, nel dettaglio piuttosto complesso, mostra chiaramente un progressivo aumento dell'entità del sovrascorrimento sull'*Unità della Laga*, procedendo da ovest verso est.

In questo settore centrale della catena del Gran Sasso d'Italia, la tettonica compressiva, attraverso successive fasi deformative perdurate dal Messiniano al Pliocene medio-superiore, ha realizzato la costruzione dell'edificio strutturale attraverso l'impilamento di due unità tettoniche minori sovrapposte con vergenza verso NNE, separate da un piano di sovrascorrimento a prevalente direzione E-W e debolmente immergente a meridione.

Procedendo dalla più bassa alla più alta strutturalmente si ha: l'*Unità dei Prati di Tivo*, affiorante sul fronte compressivo della catena, costituita dal fianco inverso di una sinclinale rovesciata nord-vergente ed a geometria piuttosto serrata, e l'*Unità del Corno Grande – Corno Piccolo*, sovrapposta alla precedente, la quale si sviluppa alle quote più alte con un prevalente assetto a monoclinale (Allegato 2). Quest'ultima è ulteriormente suddivisa da una superficie di sovrascorrimento minore in due sub-unità (Corno Grande e Corno Piccolo).

Tale complesso assetto evidenzia che un ruolo determinante, nel controllare l'evoluzione strutturale mio-pliocenica di questo tratto della catena, lo hanno sicuramente svolto le discontinuità ancestrali legate alla fase di *rifting* giurassico e che pertanto l'area in esame è stata in parte interessata da una tettonica d'inversione (Adamoli, 1992). E' probabile, cioè, che le paleofaglie distensive giurassiche, che isolavano l'articolato alto strutturale del Corno Grande, siano state riattivate dalle spinte compressive della tettonogenesi appenninica,

come faglie inverse quelle frontali e con le originarie geometrie distensive quelle poste sul retro del fronte di accavallamento (Allegato 2).

La superficie di sovrascorrimento tra le due suddette unità minori (thrust superiore) è uno dei tratti salienti della geologia del Gran Sasso, e può essere agevolmente seguita sul terreno dalla base del versante NW del Corno Piccolo, dove è stata ricostruita un'entità di traslazione di circa 500 metri, alla base della parete SE del Corno Grande, quindi con molta evidenza si osserva nella parte alta del versante settentrionale del M. Brancastello, dove l'entità del sovrascorrimento si aggira intorno ai 1500 m, fin sulla parete nord del M. Camicia dove assume un'immersione verso settentrione e probabilmente si ricongiunge con il piano di sovrascorrimento basale. Procedendo invece verso il settore occidentale del fronte della catena, ad ovest del Corno Piccolo, a causa della progressiva diminuzione verso ovest dell'entità del raccorciamento, il sistema di pieghe rovesciate sopra ricordato, acquisisce gradualmente una geometria sempre meno serrata, e le ultime tracce della superficie di sovrascorrimento superiore, sono ancora appena visibili sul versante orientale di Pizzo d'Intermesoli e, procedendo verso il M. Corvo, non raggiunge più la superficie topografica e tende verosimilmente a svilupparsi come sovrascorrimento cieco (*blind thrust*). In questo settore, pertanto, il fronte del Gran Sasso è caratterizzato da un'anticlinale rovesciata che tende progressivamente a verticalizzarsi procedendo verso occidente.

Al piano di sovrascorrimento superiore sono spesso associate rocce di faglia cataclastiche spesse anche diversi metri in corrispondenza dei calcari dolomitici, mentre in presenza dei litotipi calcareo-marnosi come la *Corniola* ed il *Verde Ammonitico*, sono invece prevalentemente osservabili rocce foliate con sviluppo di corpi sigmoidali embricati, di dimensioni variabili, allineati parallelamente al thrust. Sono inoltre presenti, sempre in prossimità del contatto, scaglie minori molto tettonizzate, separate da piani di taglio inversi subparalleli a quello principale

Il piano di sovrascorrimento basale del Gran Sasso (thrust inferiore), che ne determina l'accavallamento sull'*Unità della Laga*, è poco evidente sul terreno in quanto generalmente sepolto dagli estesi depositi continentali quaternari, come per esempio ai Prati di Tivo. Tuttavia è possibile ricostruirne una verosimile posizione ubicandolo tra la successione rovesciata e quella dritta della *Formazione della Laga*, dove sono talora osservabili alcuni elementi mesostrutturali, quali piani di taglio inversi caratterizzati da vene di taglio calcitiche e strie meccaniche evidenziate da allineamenti di miche scure. Tale posizione è confermata dal fatto che, per esempio, a Valle del Rio Arno ed a Valle del Venacquaro, nell'ambito della successione rovesciata del blocco di tetto del piano di sovrascorrimento basale, è osservabile

una perfetta continuità stratigrafica tra la *Formazione della Laga*, le *Argille ad Orbulina* e la sovrastante successione carbonatica.

A valle del sovrascorrimento basale del Gran Sasso, l'*Unità della Laga* è coinvolta in un'ampia sinclinale ad andamento assiale N-S e nella più orientale ed esterna struttura anticlinale rovesciata del Montagnone, ad asse NNW-SSE, dove l'entità del raccorciamento sembra aumentare verso sud, e dove il sovrascorrimento verso est si esplica attraverso diversi piani che individuano scaglie tettoniche di *Marne con cerroigna*. Questi, nell'estrema porzione meridionale della struttura, si anastomizzano, assumono direzione E-W e si collegano al piano di sovrascorrimento basale del Gran Sasso.

Al suo interno l'*Unità della Laga* è articolata in una serie di sovrascorrimenti minori, sempre ad andamento N-S, e le strutture plicative sono accompagnate da sistemi di faglie trasversali ed oblique a carattere trascorrente.

Gli effetti della tettonica compressiva mio-pliocenica sono particolarmente visibili nella formazione delle *Marne con cerroigna* interessata da un notevole grado di deformazione. L'ammasso roccioso presenta, infatti, caratteristiche litotecniche scadenti dovute ad una intensa fratturazione, mesopieghe, piani di taglio e ad un diffuso clivaggio.

L'area in esame, infine, a partire dal Pliocene superiore - Pleistocene inferiore è stata intensamente dislocata, durante le fasi tettoniche distensive, da diversi sistemi di faglie dirette a direzione variabile da NW-SE ad E-W e subordinatamente orientate NNE-SSW.

Sul retro del fronte di sovrascorrimento del Gran Sasso, in particolare, tali sistemi di faglie distensive hanno ribassato prevalentemente verso SSW le unità accavallate dando origine ad una serie di blocchi monoclinali immergenti verso nord.

La faglia diretta più importante ad andamento medio WNW-ESE, che nel territorio comunale di Pietracamela borda a meridione il tratto Pizzo d'Intermesoli – Corno Grande, è la "Faglia delle Tre Selle – Corno Grande" (sviluppo longitudinale di circa 10 km e rigetto massimo di 1.000 m), interpretabile come una faglia pre-sovrascorrimento riutilizzata durante la tettonica distensiva quaternaria.

2.4. Neotettonica e Rischio sismico

Nel territorio comunale di Pietracamela sono osservabili evidenze geologiche e geomorfologiche di fagliazione recente ed attiva che caratterizzano la già citata "Faglia delle Tre Selle – Corno Grande", la quale si sviluppa in lunghezza per oltre 10 km, lungo i versanti

meridionali del Monte Corvo, Pizzo d'Intermesoli e Corno Grande, attraversando le tre selle: Sella di Monte Corvo, Sella dei Grilli e Sella del Corno Grande. La maggior parte del rigetto geologico associato alla faglia, valutabile fino ad un massimo di circa 1.000 m, è da riferire all'attività sinsedimentaria meso-cenozoica, pre- e sin-orogena.

Il piano di faglia è osservabile solo localmente e le migliori esposizioni si hanno nella Valle del Venacquaro e nella Val Maone dove, per esempio, la scarpata di faglia attiva, alta fino a quasi 2 m ed immergente a sud, taglia trasversalmente l'alta Val Maone, dislocando i *Calcari bioclastici inferiori*. La rottura di pendenza che ne deriva costituisce un'anomalia geomorfologica nel profilo longitudinale della valle e suggerisce un'attività post-glaciale della struttura stessa.

Ricerche e studi paleosismologici condotti nella Valle del Venacquaro, a Campo Pericoli e nella Val Maone (Giraudi & Frezzotti, 1995), hanno evidenziato la dislocazione di depositi glaciali, colluviali ed alluvionali nel Pleistocene superiore-Olocene, consentendo di identificare almeno 4 eventi di fagliazione di superficie negli ultimi 18.000 anni, e propongono un probabile intervallo di ricorrenza dei terremoti tra 2.500-3.000 e 6.000-7.000 anni, valutando, appunto per la "Faglia delle Tre Selle – Corno Grande", uno slip-rate di 0,67-1 mm/a.

In effetti, i dati della sismicità storica documentano l'assenza di terremoti storici importanti ($M > 6$), ma le suddette chiare evidenze geologiche di fagliazione recente testimoniano che sul massiccio del Gran Sasso d'Italia sono possibili, anche se con tempi di ritorno molto lunghi, riattivazioni della "Faglia delle Tre Selle – Corno Grande" e quindi terremoti con epicentro locale anche di elevata magnitudo (fino a $M 7$).

Naturalmente numerose altre sono, nell'area del Gran Sasso d'Italia, le faglie estensionali cui può essere ascritta un'attività quaternaria su basi geologiche, strutturali e geomorfologiche. Esse hanno generalmente una orientazione media compresa tra WNW-ESE e NW-SE, al tetto dell'*Unità del Gran Sasso*, mentre, nell'unità di letto, la Faglia dei Monti della Laga corre con una orientazione NNW-SSE tra la base dei monti omonimi ed il Lago di Campotosto.

I rilievi più alti dell'*Unità del Gran Sasso* sono vistosamente sgradonati verso SSW fino alle depressioni tettoniche dell'aquilano, da faglie quaternarie, principalmente ad alto angolo ed immergenti verso sud-ovest, organizzate in "sistemi" allungati fino a 20-30 km e disposti secondo un assetto *en-echelon* sinistro, con ampi tratti di sovrapposizione. Tali faglie

attive possono essere così raggruppate: 1) Faglia dei Monti della Laga, 2) Faglia delle Tre Selle – Corno Grande; 3) Campo Imperatore; 4) Monte San Franco - Monte Ienca - Pizzo Cefalone - Monti della Scindarella; 5) Arischia - Barete; 6) Monte Stabiata - Monte d’Aragno; 7) M. Marine – M. Pettino; 8) Paganica - Barisciano - Navelli.

Il territorio comunale di Pietracamela risulta pertanto inserito in un ampio distretto sismico interessato da numerose faglie attive che hanno generato nel passato e sono in grado di generare in futuro terremoti fino a M 7. Il più alto livello di sismicità è concentrato nel territorio aquilano, recentemente interessato da una serie di eventi culminati nella notte del 6 aprile 2009, alle ore 3,32, con una scossa principale (*mainshock*) di magnitudo Richter $M_l=5,8$ e magnitudo momento $M_w=6,3$, avvenuta a circa 9 km di profondità. A questo terremoto sono seguiti altri due eventi importanti con magnitudo $M_l>5$ e profondità ipocentrale di circa 15 km. Più precisamente il 7 aprile con $M_l=5,3$ ed epicentro nella parte settentrionale della media Valle dell’Aterno ed il 9 aprile con $M_l=5,1$ ed epicentro in prossimità del Lago di Campotosto.

Le analisi dei dati geologici, geofisici e macrosismici disponibili indicano che l’attività sismica, caratterizzata da meccanismi focali di tipo distensivo (confermati dai caratteri dello sciame, duraturo e con ipocentri migranti) e con energia distribuita, nel tempo, lungo l’asse di massima distensione avente direzione NE-SW, è concentrata ad una profondità ipocentrale variabile dai 5 ai 18 km e si è sviluppata lungo due segmenti di faglie dirette ad attività tardo-quaternaria: la Faglia di Paganica, immergente verso SW ed attivata per una lunghezza di circa 15-20 km, e la più settentrionale Faglia dei Monti della Laga, immergente verso WSW e solo parzialmente attivata.

La riattivazione della Faglia di Paganica ha originato il terremoto principale del 6 aprile ($M_l=5,8$) e di tutti gli altri del distretto sismico aquilano e della Valle dell’Aterno, mentre la parziale riattivazione della Faglia dei Monti della Laga ha originato l’evento sismico del 9 aprile ($M_l=5,1$) e tutti gli altri terremoti con epicentri ubicati in prossimità del Lago di Campotosto - area di M. San Franco.

La sequenza sismica aquilana ha avuto un suo risentimento anche nel territorio provinciale di Teramo con effetti significativi in diversi comuni montani, tra cui il territorio di Pietracamela, dove ha provocato danni a strutture e fabbricati.

Il comune di Pietracamela (TE) è classificato secondo *l’O.P.C.M. 20 marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” integrata con il D.M.*

pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n.29 del 04/02/2008 e successivo O.P.C.M. 28 aprile 2006 n° 3519 “criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone” (G.U. n.108 del 11/05/2006) quale zona sismica 2.

L'attività sismica rilevata nell'Appennino centrale, ed in particolare nella regione del massiccio del Gran Sasso d'Italia fa riferimento al monitoraggio di tre sciami sismici a breve distanza temporale, nell'agosto 1992, nel giugno 1994 ed ottobre 1996, con il più grande tra questi eventi avente M 4.2. A partire dal dicembre 2008 il settore aquilano è stato interessato da una serie di eventi sismici culminati nella notte del 6 aprile 2009 con un mainschok di Mw 6.3 avvenuta a circa 9 km di profondità (INGV 2009). A questo terremoto, responsabile di ingenti danni, sono seguiti, altri due eventi con $M > 5$ con epicentro nella parte settentrionale nella media valle del fiume Aterno ed in prossimità del Lago di Campotosto; questi hanno prodotto effetti sul territorio di Pietracamela provocando danni a strutture e fabbricati.

Il Decreto Ministeriale 14 Gennaio 2008 recante “Norme Tecniche per le Costruzioni” raccoglie in modo unitario le norme nazionali che disciplinano la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle costruzioni al fine di garantire criteri univoci di sicurezza e pubblica incolumità.

In particolare, per quanto di nostra competenza, nel decreto sono definiti i modelli per la descrizione delle azioni agenti sulle strutture con particolare riferimento all'azione sismica, oltre che all'azione del vento, della neve e ad azioni eccezionali.

Come indicato nel Decreto le azioni sismiche di progetto sono definite sulla base della “pericolosità sismica di base”, caratteristica del sito di costruzione, funzione di diversi parametri:

- accelerazione orizzontale massima del sito a_g
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T_c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Allo stato attuale ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto la normativa definisce le seguenti categorie di sottosuolo a cui si può fare riferimento per valutare la

risposta sismica locale:

A *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di V_{S30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3,0 m.

B *Rocce tenere depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 360 e 800 m/s (ovvero $N_{SPT} > 50$ nei terreni a grana grossa e $Cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

C *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT} < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < Cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

D *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT30} < 15$ nei terreni a grana grossa, e $Cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

E *Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m* posti sul substrato di riferimento $V_{S30} > 800$ m/s.

Sono poi definite delle categorie di suolo aggiuntive a quelle sopra elencate di seguito elencate:

S1 Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{S30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < Cu_{30} < 20$ KPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

S2 Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle definizioni precedenti $V_{s,30}$ è la velocità equivalente di propagazione entro 30 m di profondità, delle onde di taglio; essa è definita dalla seguente espressione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}.$$

$N_{SPT,30}$ corrisponde al numero equivalente di colpi della prova penetrometrica la cui espressione risulta:

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPT,i}}}.$$

Mentre la resistenza non drenata $C_{u,30}$ è definita da :

$$c_{u,30} = \frac{\sum_{i=1,k} h_i}{\sum_{i=1,k} \frac{h_i}{c_{u,i}}}$$

Data la necessità di caratterizzare il volume significativo di terreno e data la variabilità litologica dei terreni che costituiscono il sottosuolo nella vasta area comunale, per l'assegnazione della categoria di suolo si è proceduto all'analisi delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e dalle prove geofisiche in foro (down-hole) e di superficie (sismica a rifrazione) eseguite nel territorio comunale, in base alle quali si sono poi individuate le categorie di suolo corrispondenti in base al valore delle $V_{s,30}$.

Nell'estensione di alcuni risultati puntuali, si è fatto ricorso a valutazioni supportate parzialmente da studi precedenti e sono state effettuate considerazioni soggettive, frutto di esperienza e conoscenza dei siti in oggetto.

Per il riconoscimento e l'assegnazione delle principali categorie sismiche di suolo di fondazione si è proceduto all'individuazione, innanzitutto, della successione litostratigrafica presente.

Come in ogni schematizzazione sono state necessarie delle semplificazioni, obbligate dalle dimensioni del territorio interessato e dalle finalità stesse dello studio; esse sono state operate in modo tale da limitare e contenere i margini di errore, pur tenendo conto della variabilità degli stessi condizionati da numerosi fattori naturali ed antropici.

CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI

| DEPOSITI E FORMAZIONI GEOLOGICHE | | | |
|--|------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Depositi detritici | | Litotipi marnoso-arenacei | Litotipi calcarei e marnoso-calcarei |
| calcarei | arenacei | | |
| Categorie previste nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3519 del 28 aprile 2006 | | | |
| B | C-B | B | B |

La variabilità della categoria di suolo riportata nel caso dei depositi detritici di natura arenacea è funzione della distribuzione granulometrica nonché del grado di alterazione ed allentamento subito dai materiali.

A tali categorie di terreno possono essere associate delle velocità di propagazione delle onde sismiche comprese in un range più o meno ampio in funzione del grado di alterazione superficiale e profonda, della fratturazione dei litotipi e della natura compositiva e mineralogica.

VELOCITÀ DI PROPAGAZIONE DELLE ONDE SISMICHE NEI TERRENI

| DEPOSITI E FORMAZIONI GEOLOGICHE | | | |
|---|--------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| Depositi detritici | | Litotipi marnoso-arenacei | Litotipi calcarei e marnoso-calcarei |
| calcarei | arenacei | | |
| Ordine di grandezza delle velocità delle onde compressionali e di taglio (m/s) | | | |
| 900<Vp<1500 | 750<Vp<1100 | 1200<Vp<1900 | 1900<Vp<2500 |
| 400<Vs<700 | 300<Vs<500 | 450<Vs<850 | 550<Vs<1100 |

2.5. Caratterizzazione geotecnica

Semplificando e schematizzando al massimo mediante l'accorpamento di termini a litologia simile e a comportamento meccanico analogo, il territorio comunale è, dal punto di vista applicativo, interessato fondamentalmente da tre differenti litotipi:

- Depositi detritici
- Litotipi pelitico-arenacei
- Litotipi a comportamento litoide, calcari e marnoso-calcarei

I termini detritici a loro volta sono stati distinti in funzione della natura compositiva dei termini costituenti, pertanto si individuano depositi detritici a prevalenza calcarea e depositi detritici a prevalenza terrigena con un grado di addensamento e cementazione variabile puntualmente.

I termini terrigeni, in linea generale, mostrano la presenza di una copertura quaternaria eluvio - colluviale costituita dalla degradazione delle formazioni geologiche di substrato.

Tali depositi si sono originati per accumulo di materiale disgregato, a causa di processi

di alterazione e di degradazione legati agli agenti atmosferici, delle formazioni pelitico-arenacee.

Per la loro ampia distribuzione rivestono importanza nella caratterizzazione fisico - meccanica dei terreni sia in termini applicativi che in termini di stabilità dei versanti essendo particolarmente sensibili alle variazioni del grado di umidità.

I complessi carbonatici che costituiscono la dorsale del Gran Sasso d'Italia non hanno una grande valenza in termini applicativi in quanto occupano porzioni di territorio poco accessibili o impervie.

La caratterizzazione fisico - meccanica che segue, è stata desunta dalle risultanze delle prove in situ e dei sondaggi geognostici eseguiti nell'ambito comunale, dell'esperienza diretta maturata nella zona e della bibliografia geotecnica più generalizzata esistente su queste tipologie litologiche.

BRECCE CALCAREE DI PIETRACAMELA

Il deposito è caratterizzato da un'alternanza irregolare di facies con frequenti variazioni laterali e verticali. Il grado di cementazione è variabile, talora è costituita da breccie fortemente cementate, in strati molto spessi, generalmente massivi, costituite da clasti calcarei eterometrici, che raggiungono dimensioni metriche, angolosi e sub-angolosi, raramente sub-arrotondati, con proporzioni variabili di matrice a prevalente composizione calcarea siltosa biancastra.

PARAMETRI GEOTECNICI

| | Breccie sciolte | Breccie cementate |
|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Peso di volume | $\gamma = 1.85-2.00 \text{ t/m}^3$ | $\gamma = 2.1 \text{ t/m}^3$ |
| Angolo di attrito interno | $\varphi = 20^\circ-29^\circ$ | $\varphi = 30^\circ-33^\circ$ |
| Coesione efficace | $c' = 0.0 \text{ t/m}^2$ | $c' = 0.2-0.5 \text{ t/m}^2$ |
| Modulo edometrico | $M = 1500 - 1800 \text{ t/m}^2$ | $M = 2500 \text{ t/m}^2$ |

DEPOSITI DETRITICI TERRIGENI

Tali termini detritici presenti nella porzione orientale del nucleo di Pietracamenla, sono costituiti da prevalenti clasti e grandi blocchi arenacei, con interposta una matrice prevalentemente siltoso-sabbiosa e limoso-argillosa.

Tale natura compositiva si giustifica in quanto il deposito è stato essenzialmente alimentato dalla degradazione di scarpate arenacee e pelitico-arenacee.

PARAMETRI GEOTECNICI

| | |
|---------------------------|--------------------------------------|
| Peso di volume | $\gamma = 2.00 \text{ t/m}^3$ |
| Angolo di attrito interno | $\varphi = 20^\circ\text{-}29^\circ$ |
| Coesione efficace | $c' = 0.8 \text{ t/m}^2$ |
| Modulo edometrico | $M = 1500 - 1800 \text{ t/m}^2$ |

LITOTIPI MARNOSO-ARENACEI

Le unità riunite in questa classe fisico – meccanica sono costituite da argille marnose e marnoso-siltose alternate a livelli più o meno frequenti di arenaria, molto consistenti.

PARAMETRI GEOTECNICI

| | |
|---------------------------|---|
| Peso di volume | $\gamma = 1.95\text{-}2.20 \text{ t/m}^3$ |
| Angolo di attrito interno | $\varphi = 24^\circ\text{-}27^\circ$ |
| Coesione efficace | $c' = 2.5\text{-}5.0 \text{ t/m}^2$ |
| Coesione non drenata | $C_u = 15.0\text{-}20.0 \text{ t/m}^2$ |
| Modulo edometrico | $M = 2000 - 3000 \text{ t/m}^2$ |

LITOTIPI CALCAREI

Entro tale categoria fisico-meccanica vengono compresi tutti quei termini il cui comportamento meccanico può essere definito di tipo litoide.

PARAMETRI GEOTECNICI

| | |
|---------------------------|------------------------------------|
| Peso di volume | $\gamma = 1.95-2.20 \text{ t/m}^3$ |
| Angolo di attrito interno | $\varphi = 35^\circ-45^\circ$ |
| Coesione efficace | $c' = 10-15 \text{ t/m}^2$ |
| Modulo edometrico | $M = 10000 \text{ t/m}^2$ |

La variabilità dei parametri fisico-meccanici ha cercato di tener conto del differente grado di alterazione, addensamento e fratturazione dei materiali analizzati, sulla scorta dei dati empirici a disposizione. Pertanto il modesto numero di dati di cui si è a conoscenza ha permesso di effettuare una stima sicuramente non esaustiva delle possibili variabilità litologiche in seno alle formazioni presenti, quindi i parametri anzi esposti sono da considerare quali guida e non prettamente specifici dei singoli materiali che pertanto dovranno essere verificati puntualmente nell'ambito di ogni intervento mediante indagini mirate.

3. GEOMORFOLOGIA

3.1. L'evoluzione geomorfologica recente

L'attuale paesaggio geomorfologico del comune di Pietracamela, estremamente vario e con scenari di incommensurabile bellezza, è il risultato della lunga e complessa interazione tra l'erosione selettiva, i movimenti neotettonici e l'alternanza di processi erosivi e deposizionali legati alle variazioni climatiche quaternarie. In tempi recenti, millenarie pratiche di uso silvo-pastorale del territorio hanno poi modificato la copertura pedologica e vegetazionale, contribuendo a conferire al paesaggio montano l'aspetto attuale.

Dopo il sollevamento e la formazione dell'originario edificio strutturale del Gran Sasso d'Italia, inizia a realizzarsi e continua tuttora, l'azione demolitrice e modellatrice degli agenti atmosferici (pioggia, neve, ghiaccio, vento) che, attraverso i processi di erosione, trasporto e sedimentazione, hanno rielaborato l'originario rilievo dando origine, a seconda della natura litologica, dell'assetto strutturale e del grado di fratturazione degli ammassi rocciosi, alle attuali varie e spettacolari forme del paesaggio.

Il controllo litologico-strutturale sul modellamento della catena appare evidente a tutte le scale, infatti le numerose strutture tettoniche quali pieghe di varie dimensioni, superfici di sovrascorrimento, blocchi monoclinali, faglie di diversa estensione, con il significativo concorso delle differenti litologie delle formazioni rocciose affioranti, hanno controllato i processi erosivi e sedimentari, determinando la presenza di morfologie assai articolate quali: versanti a forte pendenza e pareti subverticali o a strapiombo, creste frastagliate, cenge, selle, camini, forcelle aeree, pilastri e canali, tipiche dell'ambiente geomorfologico alpino.

I versanti ripidi e monolitici si hanno in corrispondenza degli affioramenti dei grossi banchi amalgamati e poco stratificati dei *Calcari bioclastici inferiori*, come per esempio sul Corno Piccolo, mentre pareti sempre a forte acclività, sottoposte però a fenomeni piuttosto frequenti di crollo e con canali ripidissimi laddove si addensano le fratture subverticali, si hanno invece sul gruppo del Corno Grande, dove è presente il *Calcare Massiccio*, ben stratificato e fratturato.

Le cenge in parete sono osservabili al contatto tra formazioni carbonatiche a diversa erodibilità o in corrispondenza dei livelli marnosi dei quali ne seguono fedelmente la direzione, mentre versanti meno ripidi e selle si hanno in presenza di formazioni calcareo-marnose più erodibili, come il *Verde Ammonitico* e la *Scaglia cinerea*. Sempre al passaggio

tra formazioni con litologie diverse si possono avere vallecole che si chiudono ad imbuto e proseguono sotto forma di ripidi e stretti canali.

Nell'area pedemontana, ad eccezione delle ripide pareti in corrispondenza dei depositi di breccie continentali cementate del Quaternario (Capo le Vene), la prevalente natura arenaceo-marnosa delle rocce affioranti ha dato luogo, in generale, a forme più morbide rispetto a quelle del massiccio carbonatico. La presenza però all'interno della *Formazione della Laga* di litologie che offrono risposte diverse all'erosione, rendono evidente, anche in queste zone, il controllo esercitato dalla litologia sul modellamento del territorio. I rilievi maggiori e relativamente più aspri si hanno in corrispondenza delle aree dove affiorano prevalentemente i banchi e gli strati arenacei più resistenti all'erosione; dove invece più elevati sono le frequenze e gli spessori delle intercalazioni pelitiche più erodibili, la morfologia risulta più dolce. L'alternanza di strati arenacei con strati argilloso-marnosi produce inoltre, sempre per erosione selettiva, pendii con una caratteristica morfologia a gradini e scarpate.

La grande diffusione di rocce carbonatiche stratificate e fratturate, facilmente aggredibili dall'azione chimica delle acque meteoriche, ha favorito inoltre, nelle zone interne della catena, lo sviluppo di tipiche morfologie carsiche superficiali, la cui distribuzione, oltretutto dalla litologia del substrato, appare in gran parte controllata dall'assetto tettonico dell'area.

Tipiche macroforme del paesaggio carsico sono per esempio rappresentate dalle rare e piccole doline, con perimetro sub-circolare e poco profonde, mentre una vasta gamma di microforme carsiche dovute anch'esse alla dissoluzione dei calcari (carie, scannellature e piccole vaschette che testimoniano un carsismo ancora incipiente), ed i *campi carreggiati* (karren), consistenti in solchi più o meno profondi che intagliano la roccia calcarea, formati per dissoluzione del carbonato di calcio da parte delle acque meteoriche che scorrono lungo le linee di massima pendenza della superficie rocciosa, sono osservabili sul Corno Piccolo, a Campo Pericoli appena a nord di M.Portella ed in altre zone della catena.

Il carsismo ipogeo nel territorio di Pietracamela è poco diffuso, e le poche cavità esistenti, come quelle ubicate alla base delle ripide pareti carbonatiche di Capo le Vene, presentano dimensioni generalmente modeste. La mancanza di sviluppati sistemi carsici ipogei, in un territorio dove sono diffuse le forme carsiche superficiali, è probabilmente da attribuire all'azione "inibitrice" della neotettonica sulla carsificazione. I movimenti recenti lungo faglie "attive", potrebbero infatti aver rallentato e comunque disorganizzato la circolazione idrica profonda.

3.2. Il glacialismo quaternario ed il Ghiacciaio del Calderone

Le diverse forme e depositi dovuti alla morfogenesi glaciale, in particolare i numerosi e ben conservati circhi glaciali localizzati sui versanti settentrionali della catena, soprattutto alla testata delle alte valli, i depositi glaciali presenti nella Valle Venacquaro e nella Val Maone-Valle del Rio Arno, le rocce montonate di Campo Pericoli e del Venacquaro, le valli dal profilo ad “U” come quella della Val Maone che rappresenta il più bell’esempio di valle glaciale del massiccio, testimoniano chiaramente che, durante le fasi fredde pleistoceniche, vi furono sul Gran Sasso d’Italia diversi grandi ghiacciai oltrechè numerosi apparati glaciali minori. Gli esempi più spettacolari sono costituiti da Campo Pericoli-Val Maone-Valle del Rio Arno, dalla Valle del Venacquaro e dalla Conca del Sambuco sul versante nord di Pizzo d’Intermesoli.

I depositi glaciali relativi all’Ultima Glaciazione sono osservabili, nella Val Maone - Valle del Rio Arno e nella Valle del Venacquaro, solo a partire da quota 1800 m circa, a causa del forte approfondimento vallivo olocenico e del modellamento gravitativo dei versanti che hanno favorito l’erosione dei depositi stessi. Tuttavia è molto probabile che, date le dimensioni delle valli e dei sistemi di circhi glaciali, i ghiacciai abbiano raggiunto quote molto più basse. Depositi più antichi, riferibili al Pleistocene medio, sono osservabili a quota 1.110 m sl.m., in corrispondenza della Valle del Rio Arno nei pressi del borgo di Pietracamela.

Sempre nel Venacquaro ed a Campo Pericoli sono inoltre presenti depositi detritici di origine glaciale, punteggiati da un insieme di piccole depressioni circolari a forma di imbuto, simili a doline (kettle), la cui genesi è da riferire non a fenomeni di dissoluzione carsica, ma alla fusione delle ultime lenti di ghiaccio morto, rimaste intrappolate all’interno della copertura detritica durante il ritiro dei ghiacciai.

Sul versante nord del Corno Grande, appena sotto la vetta occidentale, all’interno di un circo glaciale stretto ed allungato si è conservato, grazie alle locali, particolari condizioni topografiche, il *Ghiacciaio del Calderone*, il più meridionale d’Europa ed al disotto dell’attuale limite teorico delle nevi persistenti, valutabile sul Gran Sasso intorno ai 3000 m s.l.m.. Classificabile come “ghiacciaio pirenaico di circo”, ed ubicato ad un’altitudine media di circa 2780 m, è incassato tra ripide pareti rocciose alte fino a 200 m.

La morena frontale del ghiacciaio, alta fino a 40 metri ed addossata sulla soglia rocciosa del circo prospiciente la Valle delle Cornacchie, presenta attualmente la superficie

sommitale sensibilmente depressa nella parte centrale, forse a causa della fusione di lembi di ghiaccio residuo all'interno della morena stessa.

L'apparato glaciale del Calderone, da circa un trentennio in fase di accentuata riduzione in quanto l'alimentazione nevosa invernale e primaverile è risultata generalmente inferiore all'ablazione estiva, è da circa un decennio definitivamente frammentato in due settori, quello superiore esteso poco meno di 13.000 m² e quello inferiore più ampio che si estende per quasi 38.000 m² per una superficie complessiva ridottasi dai 6,2 ettari degli anni '60 del secolo scorso agli attuali 5 ettari, ed è quindi probabilmente già iniziata la sua lenta trasformazione in un piccolo "ghiacciaio nero". Alla fine della stagione estiva, quando non vi è neve residua, la superficie del ghiacciaio è quasi completamente ricoperta da una coltre detritica proveniente dalla degradazione delle pareti circostanti e solo localmente è possibile osservare il ghiaccio vivo residuo, il cui spessore massimo può essere attualmente valutato poco meno di 20 metri.

L'analisi dei depositi glaciali conservati sulla soglia del circo glaciale e lungo la sottostante Valle delle Cornacchie, nei pressi del Rifugio Franchetti, consente di ricostruire la storia degli ultimi 10.000 anni del Calderone, caratterizzata da almeno 5 fasi di espansione del ghiacciaio. Un interessante elemento della sua storia olocenica, messo in luce da recenti ricerche (Giraudi, 2000), è rappresentato dalla datazione, col metodo del ¹⁴C, del materiale organico presente nella matrice della morena posta sulla soglia del circo, che ha fornito un'età di circa 3895 anni dal presente. Tale dato consente di ipotizzare che, nella depressione del circo del Calderone, circa 3895 anni fa, in un periodo caldo, si originò un suolo ricco di sostanza organica, il cui sviluppo può essere avvenuto solo in mancanza del ghiacciaio o tutt'al più in presenza di un corpo glaciale frammentato, assai più ridotto di quello attuale. In un successivo periodo freddo, il Ghiacciaio del Calderone iniziò a riformarsi o a riespandersi.

Limitandoci alla storia dell'ultimo cinquantennio si osserva infine che, dopo la fase caratterizzata da un locale aumento del volume del corpo glaciale negli anni '60 ("Piccola Fase Fredda"), e poi da una sostanziale stazionarietà negli anni '70, è successivamente ripresa (era iniziata alla fine dell'Ottocento), nella prima metà degli anni '80, la fase di riduzione del ghiacciaio, tuttora in corso, come sembrano confermare le tendenze dei bilanci di massa fortemente negativi di questi ultimi anni.

La rapida e diretta reazione alle variazioni climatico-ambientali fa del Ghiacciaio del Calderone un indicatore sensibile; esso costituisce altresì un eccezionale "geomorfosito", da tutelare e valorizzare, in quanto rappresenta una vera rarità naturalistica ed una testimonianza paleogeomorfologica e paleoglaciologica di notevole valore scientifico.

3.3. Fenomeni franosi e Deformazioni Gravitative Profonde di Versante

3.3.1. Tipologia e distribuzione dei movimenti franosi

La notevole complessità orografica e l'elevata energia del rilievo determinano, nel territorio comunale di Pietracamela, la presenza di numerosi e diffusi fenomeni gravitativi di diversa tipologia ed estensione. La principale causa predisponente al dissesto è quindi in stretta relazione con l'acclività dei versanti dovuta alla forte tendenza all'approfondimento del reticolo idrografico connesso al sollevamento tettonico, alle variazioni climatiche ed all'attività quaternaria delle faglie dirette. Anche l'azione dell'uomo (interventi sulla copertura vegetazionale, realizzazione di opere infrastrutturali, ecc.), e la mancanza delle piccole opere di manutenzione del territorio, conseguente all'abbandono della montagna, possono aver contribuito, localmente, a rendere talvolta più precario l'equilibrio geomorfologico dei versanti montuosi. La notevole varietà tipologica dei fenomeni gravitativi e la loro distribuzione è comunque da mettere in relazione alla litologia ed alle caratteristiche strutturali e meccaniche delle formazioni coinvolte.

Nell'area della catena, le strapiombanti pareti carbonatiche sono soggette a numerose frane di crollo e ribaltamento, condizionate prevalentemente dalla presenza di numerose discontinuità strutturali (fratture, faglie etc.). Porzioni più o meno rilevanti di ammassi rocciosi e blocchi poliedrici isolati di varie dimensioni e in equilibrio precario, sono presenti lungo le pareti principali e il loro improvviso distacco ed accumulo al piede dei ripidi versanti alimenta estese falde detritiche. Fenomeni di crollo sono altresì possibili sia sulle ripide pareti di brecce calcaree cementate presenti a Capo le Vene a ridosso dell'abitato di Pietracamela sia in alcuni versanti, sempre dell'area pedemontana, a causa della presenza di scarpate strutturali modellate in corrispondenza dei banchi e strati arenacei ed arenaceo-marnosi della *Formazione della Laga*.

Le principali cause scatenanti questi movimenti, che naturalmente si verificano laddove le pareti subverticali presentano un alto grado di separazione strutturale delle roccia, sono da ricercare essenzialmente nelle forti sovrappressioni provocate dall'acqua all'interno delle fratture e legate agli eventi meteorologici e di scioglimento delle nevi, così come alle quote più alte la presenza di neve per lunghi periodi ed i cicli di gelo-disgelo diurni e stagionali. Infine anche gli scuotimenti dovuti ad eventi sismici possono costituire un'importante causa scatenante.

Meno frequenti e soprattutto di dimensioni generalmente ridotte appaiono le deformazioni superficiali lente e gli scorrimenti rotazionali che si verificano soprattutto nelle sequenze pelitico-arenacee o marnoso-calcaree e che frequentemente interessano anche le spesse coltri detritiche.

Abbastanza diffuse sono invece le frane di colamento, le quali presentano caratteristiche e velocità piuttosto variabili in relazione ai terreni coinvolti. Le più frequenti nel settore montuoso, come ad esempio sul versante orientale del tratto Pizzo d'Intermesoli - Sella dei Grilli, sono costituite dalle colate di detrito (debris flow): in genere si tratta di movimenti rapidi con spessori di detrito coinvolto molto variabili, i quali si verificano in corrispondenza dei principali eventi meteorici o dello scioglimento delle nevi e, localmente, possono essere associate a fenomeni valanghivi. Infine, colate di terra sono presenti in corrispondenza di terreni a prevalente componente pelitica, come lungo l'alveo del torrente Cannavine nel settore più orientale dell'abitato di Pietracamela.

Altri fenomeni franosi molto diffusi, soprattutto lungo i versanti della fascia pedemontana della catena del Gran Sasso, sono costituiti dagli scorrimenti traslativi favoriti dalla presenza di potenti coperture detritiche. Si tratta di frane spesso di notevoli dimensioni, con velocità di movimento generalmente lente, come nel caso dei versanti di Pietracamela e di Interimesoli. In queste località è presente una copertura costituita da accumuli caotici di frammenti litici di varie dimensioni fino ai grandi blocchi, con matrice siltoso-sabbiosa più o meno abbondante e con spessore variabile fino a 40-50 m, la quale si è prodotta per successivi scivolamenti traslazionali lungo i versanti. La copertura stessa, come si vedrà più avanti, è attualmente interessata da movimenti che avvengono lungo la superficie di contatto con il substrato a profondità variabile dai 30 m dell'abitato di Pietracamela fino ai 40 - 50 m di Interimesoli, dove il vasto fenomeno franoso ha interessato la strada di collegamento fra l'abitato e Fano Adriano.

3.3.2. Evidenze di Deformazioni Gravitative Profonde di Versante

La contemporanea presenza nel territorio montuoso di Pietracamela, così come nei limitrofi comuni di Fano Adriano e Crognaleto, di peculiari condizioni morfologiche, climatiche e lito-strutturali, ha favorito l'innescare e lo sviluppo di processi gravitativi che coinvolgono considerevoli porzioni di versante e che si manifestano su una scala spazio-temporale molto ampia, assumendo i caratteri propri delle Deformazioni Gravitative Profonde di Versante (DGPV).

In effetti, l'elevato valore dell'energia del rilievo, ovvero l'elevato tasso di sollevamento pleistocenico con conseguente veloce approfondimento dei solchi vallivi dovuto ad un'intensa erosione lineare, associato all'assetto lito-strutturale del substrato roccioso caratterizzato dalla presenza di sistemi di faglie distensive a direzione variabile da NW-SE ad E-W e subordinatamente NNE-SSW, hanno favorito la presenza, lungo i versanti settentrionali di Corno Piccolo e di Pizzo d'Intermesoli, e quindi lungo i versanti degli abitati di Pietracamela e di Intermeoli, di Deformazioni Gravitative Profonde di Versante (Allegato 1).

Evidenze di DGPV, che comunque non sono state ancora adeguatamente studiate, sono state riscontrate sia ridosso della cresta dell'Arapietra (D'Alessandro *et alii*, 2003) sia sulle creste di Pizzo d'Intermesoli e sul Corno Piccolo dove è stato tra l'altro osservato uno sdoppiamento di cresta della vetta (Pecci & D'Aquila, in stampa). Un breve accenno alla presenza di DGPV sul versante di Pietracamela lo si ritrova invece in Adamoli, 1998, nell'ambito di uno studio eseguito nel 1994 per il Piano Territoriale della Provincia di Teramo ed in Centamore *et alii*, 1997.

Le Deformazioni Gravitative Profonde di Versante consistono in movimenti di massa molto complessi che in genere coinvolgono grandi volumi di roccia e presentano caratteri cinematici definibili con relazioni tensioni-deformazioni del tipo *creep*. Il processo deformativo della massa rocciosa è per lo più lento e progressivo (velocità media di deformazione dell'ordine di grandezza dei mm/anno o cm/anno), senza che vi siano apprezzabili superfici continue di rottura. Gli spostamenti differenziali si sviluppano, infatti, lungo una serie di piani di discontinuità preesistenti di difficile determinazione o comunque lungo fasce di contrasto litologico o di maggiore debolezza localizzate a diversa profondità.

Le evidenze morfologiche più significative di tali deformazioni, in buona parte riscontrabili nei versanti in esame, sono: trincee anche di notevoli dimensioni parallele al versante, scarpate, grandi e piccoli ripiani in contropendenza nelle porzioni intermedie del versante, sdoppiamento, anche multiplo, della cresta, fratture di tensione nei settori sommitali dei versanti e rigonfiamenti nelle zone basali. In tale contesto di instabilità geomorfologica generalizzata, determinata dai processi gravitativi sull'intero sistema crinale-versante-fondovalle per profondità che superano il centinaio di metri, si inseriscono generalmente fenomeni franosi superficiali a piccola scala, la cui disposizione areale ed i cui caratteri genetici ed evolutivi sono verosimilmente connessi, con relazioni causa/effetto, ai movimenti profondi.

Nel territorio in esame, l'area che desta maggiore attenzione è sicuramente quella del versante di Pietracamela, dove il movimento è ancora in atto, come dimostrano le registrazioni inclinometriche ottenute attraverso sondaggi profondi (in particolare il sondaggio S5 spinto fino a 160 di profondità) eseguiti nei primi anni '90. In particolare, l'analisi complessiva dei diagrammi inclinometrici, ha consentito di individuare gli effetti della DGPV che avrebbe "attivato" un ammasso roccioso di oltre 150 m di profondità, con deformazioni distribuite all'interno della litofacies calcarenitico-calcirudite della *Marne con cerrognia* e che si sviluppano non lungo una determinata superficie di scorrimento ma lungo una serie di piani di discontinuità. Alla DGPV sono associati fenomeni franosi superficiali che interessano la fascia superiore di spessore massimo pari a 30 metri.

Anche il fenomeno franoso che ha interessato in tempi recenti un tratto della strada Intermesoli - Fano Adriano, la cui tipologia è essenzialmente riconducibile ad un esteso e profondo (fino a 45-50 m) scorrimento traslativo dei "depositi di versante a grossi blocchi", lungo la superficie di contatto tra il substrato e la copertura detritica, è associato ad una vasta DGPV.

Il cinematisimo lento e le notevolissime dimensioni delle Deformazioni Gravitative Profonde di Versante, non rendono naturalmente possibili interventi di stabilizzazione dei versanti, ed in genere tali fenomeni vengono affrontati con criteri di tipo pianificatorio, monitoraggio ed eventuali piani di allertamento.

Nel caso specifico del versante di Pietracamela, l'obiettivo di una corretta gestione del rischio può essere così perseguito:

- Pianificazione di ulteriori fasi di studi geologici e geomorfologici di superficie, ed in particolare di indagini morfostrutturali, per una esatta individuazione dell'area coinvolta dal fenomeno, mirata alla valutazione dei rischi. A tale proposito si sottolinea che per quanto concerne i rischi connessi alle DGPV, questi fenomeni si collocano in una posizione intermedia tra i movimenti franosi ed i fenomeni di tettonica gravitativa e possono essere considerati come lo stadio preparatorio di fenomeni franosi di grandi dimensioni che però raramente giungono al collasso.
- Implementazione dei dati geologico-geomorfologici di superficie con quelli derivanti da un sistema di monitoraggio che valuti l'entità delle deformazioni delle masse rocciose in profondità, in maniera tale da poter analizzare e valutare la dinamica e l'evoluzione del fenomeno in atto e quindi le condizioni di rischio.

- Informazione corretta degli abitanti del paese relativamente a tale fenomeno e messa in opera di un sistema di monitoraggio della DGPV con l'eventuale predisposizione di un piano d'allertamento.

3.3.2. La frana di Pietracamela

Il versante del borgo di Pietracamela è interessato non solo dalla DGPV, ma anche da numerosi fenomeni franosi superficiali quali: le frane di crollo che interessano sia la ripida parete carbonatica subverticale di Capo le Vene che le pareti dei grossi massi isolati presenti all'interno del paese e la frana complessa di notevole estensione che coinvolge tutto il settore orientale (La Villa) dell'abitato, con effetti appariscenti sia sulla morfologia che sulle infrastrutture.

Tali complesse condizioni di pericolosità geomorfologica, che hanno determinato nel tempo la necessità di numerosi interventi di consolidamento, sinteticamente descritti nella Tabella 1 secondo un ordine cronologico, sono essenzialmente da riferire al fatto che, il borgo di Pietracamela, analogamente ad altri abitati dei comuni limitrofi, è ubicato in una fascia pedemontana della catena del Gran Sasso d'Italia, caratterizzata da un alto indice di franosità, laddove cioè si sviluppa il contatto tra le *Marne con cerroigna* ed il *membro di Campotosto* della *Formazione della Laga*, ricoperto da spessi depositi detritici a grandi blocchi.

Il fenomeno franoso complesso, di notevoli dimensioni, sembra collocato in una depressione tettonica delimitata da faglie distensive diversamente orientate (Centamore *et alii*, 1997) ed interessa tutto il versante di Pietracamela dalla dorsale di Colle Lungo ad est all'incisione di Rio Arno ad ovest, ed all'incirca dalla base di Colle Cepito ad oltre 1200 m di quota, dove la corona di frana principale si estende per circa 600 m con un'altezza di circa 50 - 60 m, fino alla confluenza del Fosso Cannavine nel Rio Arno a circa 750 m di quota.

Dall'analisi dei dati provenienti e dai rilevamenti geologici e geomorfologici di superficie e dai sondaggi geognostici eseguiti nei primi anni '90 del secolo scorso, è emerso che all'interno del fenomeno gravitativo si possono individuare: una porzione superiore estesa fino alle *Argille ad Orbulina*, con spessore massimo di circa 30-40 m, in cui si osservano i movimenti franosi superficiali, ed una fascia inferiore collocata all'interno delle *Marne con cerroigna*, in cui sono stati osservati, mediante registrazioni inclinometriche, gli effetti dell'attività di una Deformazione Gravitativa Profonda di Versante.

| Anno | Interventi realizzati nelle aree in frana |
|---------------|--|
| anni '30 | Intervento di sottomurazione alla base del grosso blocco di breccie calcaree di Vena Grande, sovrastante Piazza degli Eroi, nel nucleo antico del borgo. |
| 1983 | Realizzazione di un canale di gronda per la raccolta delle acque ed interventi di consolidamento con muretto di sottomurazione, spritz beton e tirantature nel settore NW della parete di breccie calcaree cementate di Capo le Vene, sovrastante l'abitato. |
| 1992 | Realizzazione del 1° lotto di opere relative al progetto " <i>Lavori di consolidamento del dissesto idrogeologico del capoluogo</i> ", consistente nella realizzazione di una trincea drenante a monte di La Villa. |
| 1998 | Esecuzione del 2° lotto di opere relative al progetto " <i>Lavori di consolidamento del dissesto idrogeologico del capoluogo</i> " consistenti nella realizzazione di un primo pozzo drenante di grande diametro, sempre nel settore orientale dell'abitato (La Villa). |
| fine anni '90 | Interventi di consolidamento (disgaggi, muretti di sostegno, reti paramassi leggere, chiodature, ecc.) delle pareti rocciose in località Capo le Vene, Palestra di roccia, La Rocca, Vena Grande e Monte Calvario. |
| 2001 2002 | Realizzazione del 3° lotto del progetto " <i>Lavori di consolidamento del dissesto idrogeologico del capoluogo</i> " consistente nella realizzazione del 2° e 3° pozzo drenante di grande diametro, con relativa costruzione di dreni sub-orizzontali e condotte di scarico delle acque drenate, sempre nel settore orientale dell'abitato (La Villa). |
| 2004 2005 | Realizzazione del 4° lotto del progetto " <i>Lavori di consolidamento del dissesto idrogeologico del capoluogo</i> ", consistente nella realizzazione di interventi (aumento altezza delle briglie esistenti, realizzazione vasca di contenimento delle acque, sistemazioni a monte del canale, ecc.) per ridurre l'erosione in atto lungo Rio la Porta, appena a monte di Piazza degli Eroi, nonché sarcitura di fessure del muro a monte del municipio e monitoraggio della frana con sistema radio (attualmente non funzionante). |
| 2004 2006 | Intervento di consolidamento della pensilina e del muro in pietrame sottostante la S.P. 43 che attraversa l'abitato, sulla destra idrografica del Rio la Porta, effettuato in due tempi dalla Provincia di Teramo. |
| 2006 | Interventi generali di manutenzione del reticolo idrografico minore del versante di Pietracamela (Rio la Porta ed altri fossi). |
| 2007 | Realizzazione del 5° lotto del progetto " <i>Lavori di consolidamento del dissesto idrogeologico del capoluogo</i> " consistente nella realizzazione del 4° pozzo drenate di grande diametro. Non sono ancora stati realizzati i lavori di ripulitura e risistemazione delle linee di scarico, le opere di miglioramento e recupero ambientale, e non sono ancora stati eseguiti i tre sondaggi attrezzati con piezometro per il monitoraggio dell'area in frana. |
| 2008 | Esecuzione di lavori (barriere paramassi, sistemi attivi di consolidamento diffuso, ancoraggi profondi, disgaggi e sottomurazioni) per la mitigazione del rischio relativo ai movimenti franosi da crollo in località Capo le Vene, La Rocca e Palestra di Roccia. |

Tab. 1 –

I fenomeni franosi superficiali, favoriti dalla presenza di una potente copertura detritica contenente una falda idrica sospesa, alimentata dall'infiltrazione di acque meteoriche e da perdite laterali provenienti soprattutto dalle breccie calcaree di Capo le Vene, consistono essenzialmente in: scorrimenti rototraslazionali con velocità di movimento generalmente lente che hanno causato evidenti effetti all'abitato di Pietracamela (La Villa), deformazioni lente a valle del paese tra la località "Le Fonti" e Rio Arno, ed un colamento esteso circa 3 km in lunghezza da q. 1180 m a q. 850 m, lungo l'alveo del torrente Cannavine nel settore più

orientale dell'abitato e coinvolgente uno spessore modesto del substrato (Centamore *et alii*, 1997).

All'interno del corpo di frana principale, dove il meccanismo di movimento è dato dalla combinazione di uno scorrimento rotazionale nell'area di testata e di uno scivolamento traslativo nella parte mediana e terminale del corpo di frana (Allegato 3), sono osservabili scarpate secondarie, contropendenze, ristagni d'acqua e risorgive.

Il movimento franoso, infine, sembra evolvere lentamente, anche se con modalità leggermente diverse da zona a zona, e talora sembra subire brusche accelerazioni in concomitanza di eventi meteorici particolarmente critici.

4. IDROGEOLOGIA

4.1. Caratteri idrologici

La definizione dei parametri pluvio-termometrici di un determinato territorio assume, nell'ambito dell'analisi delle caratteristiche idrogeologiche, un'importanza fondamentale per stimare la quantità d'acqua meteorica disponibile per il deflusso superficiale e sotterraneo.

Sulla base dei dati desunti dagli annali idrografici editi dal Servizio Idrografico dello Stato, sezione di Pescara, sono riportati, qui di seguito, i principali parametri idrologici riferiti alla stazione pluviometrica e termometrica di Pietracamela:

- Quota della stazione pluviometrica e termometrica: 1000 m s.l.m.
- Anni di osservazione considerati per il calcolo del valore medio: 60
- Precipitazione media annua P: 1055 mm
- Temperatura annua media T (calcolata dal gradiente termico della zona): 10,3 °C
- Evapotraspirazione reale media ET (calcolata con il metodo di Turc): 526 mm
- Precipitazione efficace PE (differenza tra P ed ET): 529 mm

Il decremento del valore medio annuo delle precipitazioni efficaci che va da un massimo di circa 1000 mm sul massiccio del Gran Sasso, a 300-500 mm nell'area collinare, fino a valori di 100-200 mm lungo la fascia costiera, è da attribuire al ruolo di ostacolo svolto dalla catena del Gran Sasso ai venti umidi di provenienza adriatica. La maggiore piovosità si registra, infatti, lungo il versante settentrionale della catena e decresce gradualmente andando verso la fascia costiera.

La sorgente puntuale più importante del territorio comunale, emergente dall'acquifero carbonatico del Gran Sasso, è quella del Rio Arno, ubicata a q. 1524 m s.l.m., con una portata media attuale di 0,1 mc/s (valore medio relativo agli ultimi 30 anni). Sempre lungo la Valle del Rio Arno, e nella Valle Venacquaro, sono poi presenti alcune sorgenti lineari, le quali rappresentano emergenze di acque sotterranee (da 1 a 50 l/sec) in un tratto d'alveo drenante, di lunghezza variabile.

4.2. Complessi idrogeologici

I depositi carbonatici, i depositi terrigeni silicoclastici, nonché i depositi continentali quaternari, affioranti nel territorio comunale di Pietracamela, presentano caratteri idrogeologici piuttosto differenziati. In generale, mentre la successione carbonatica, permeabile per fessurazione e per carsismo, assume il ruolo di serbatoio per le acque sotterranee, la successione terrigena, data la scarsa permeabilità, svolge il ruolo di "acquioclude" nei confronti dell'acquifero carbonatico; vario, invece, data la permeabilità per porosità piuttosto variabile, è il ruolo idrogeologico svolto dai depositi detritici continentali quaternari.

Nell'ambito delle suddette successioni è possibile, comunque, riconoscere e valutare delle differenze idrogeologiche fra le varie formazioni, le quali, sulla base dei caratteri litologici, sedimentologici e strutturali, illustrati in precedenza, possono essere raggruppate nei seguenti complessi idrogeologici aventi caratteri abbastanza omogenei.

Complesso dei depositi detritici continentali (Quaternario)

E' costituito dalle coltri detritiche pedemontane e da depositi di varia genesi, caratterizzati da eterogeneità litologica, granulometria eterometrica e da spessori variabili. La permeabilità per porosità, da bassa ad elevata, varia in funzione della granulometria e del grado di cementazione. I depositi poggiano sia sopra un substrato carbonatico permeabile sia sopra un substrato impermeabile o poco permeabile costituito per esempio dall'associazione pelitico-arenacea della *Formazione della Laga* o magari dalle *Argille ad Orbulina*. Il complesso può contenere modeste falde idriche, la cui alimentazione è data dall'infiltrazione di acque meteoriche e/o da perdite laterali dell'acquifero carbonatico o arenaceo.

Complesso dei depositi torbiditici arenacei, arenaceo-pelitici e pelitico-arenacei (Messiniano p.p.)

E' costituito dalle sequenze terrigene silicoclastiche caratterizzate da alternanze variabili di arenarie in strati e banchi e peliti in prevalenti strati medi e sottili. Nell'insieme queste successioni torbiditiche, per la presenza di livelli impermeabili, limitano le possibilità di infiltrazione e di immagazzinamento in profondità delle acque meteoriche, svolgendo la funzione di "acquioclude" nei confronti dell'acquifero carbonatico. Dove però le sequenze

arenacee raggiungono spessori consistenti e sono più fratturate, la conseguente maggiore permeabilità e capacità d'immagazzinamento favoriscono la presenza di modesti acquiferi che alimentano sorgenti caratterizzate da un regime stagionale e da portate molto basse, inferiori ad 1 l/sec.

Complesso marnoso-calcarenitico (Miocene medio-superiore)

Costituito dalla successione marnoso-calcarenitica miocenica (*Marne con cerrogna* ed *Argille ad Orbulina*), il complesso è presente nell'area del Montagnone e comunque costituisce il substrato del versante dell'abitato di Pietracamela. Le rocce, generalmente piuttosto fratturate e localmente interessate da processi carsici in profondità dove prevale la litofacies calcarenitico-calciruditica delle *Marne con cerrogna*, presentano una permeabilità d'insieme medio-bassa. L'infiltrazione efficace media annua, per precipitazioni di 1.000 mm/anno, può essere stimata circa 300 mm. La formazione essenzialmente pelitica delle *Argille ad Orbulina*, posta al passaggio con i sovrastanti depositi terrigeni silicoclastici, presenta comunque una permeabilità ancora più bassa con valori del coefficiente di permeabilità K compresi tra $1 \cdot 10^{-6}$ e 1×10^{-8} m/sec.

Complesso calcareo-silico-marnoso (Giurassico inferiore p.p. - Oligocene)

E' costituito dalla successione calcareo-silico-marnosa che, nell'area in esame, presenta potenti intercalazioni calcarenitiche e calciruditiche che ne aumentano la capacità di immagazzinamento e la permeabilità d'insieme. I pochi livelli marnosi, presenti a varie altezze stratigrafiche, possono sostenere localmente falde sospese di limitata estensione, poste a quote diverse. L'infiltrazione efficace media annua può essere stimata intorno a 750 mm per precipitazioni di 1000 mm/anno.

Complesso calcareo-dolomitico basale (Giurassico inferiore p.p.)

Presente solo sul Corno Grande, il complesso, che rappresenta la base stratigrafica del complesso calcareo-silico-marnoso, è costituito da una successione di calcari dolomitici, fratturati e cataclasati soprattutto lungo le superfici di faglia. La cataclasite, finissima, può riempire le fratture e ridurre così la permeabilità d'insieme, caratterizzata da valori piuttosto bassi. L'infiltrazione efficace può essere stimata intorno a 300 mm per precipitazioni di 1000 mm/anno.

4.3. Idrostrutture e risorse idriche sotterranee

L'analisi dell'assetto lito-strutturale consente non solo di caratterizzare i complessi idrogeologici più significativi, ma anche di delineare le seguenti due più importanti idrostrutture presenti.

Idrostruttura del Montagnone

Si tratta di una piccola idrostruttura estesa circa 56 km², dalla valle del Vomano ai piedi del settore centrale più elevato della catena del Gran Sasso d'Italia, costituita dal complesso marnoso-calcarenitico miocenico. L'acquifero basale viene drenato essenzialmente in direzione nord dal fiume Vomano dove, tra le quote 470 e 260 m s.l.m., è stato rilevato un incremento di portata dell'alveo di circa 0,5 mc/sec.

Idrostruttura del Gran Sasso d'Italia

Il massiccio carbonatico del Gran Sasso costituisce una struttura idrogeologica indipendente la cui area di alimentazione si estende su un territorio di circa 970 km², posto a quote comprese fra 2912 e 250 m s.l.m. Il limite dell'idrostruttura, ben definito a nord e ad oriente, nei tratti in cui il massiccio carbonatico si sovrappone ai sedimenti terrigeni silicoclastici che rappresentano l'acquicluda regionale, appare invece incerto a SW, lungo la valle dell'Aterno, dove è quasi certa la possibilità di importanti travasi idrici dalla vicina catena del Sirente verso la sorgente di Capo Pescara.

L'idrostruttura del Gran Sasso, che rappresenta una delle più importanti fonti di alimentazione idropotabile dell'Abruzzo, è costituita da tutti i complessi carbonatici descritti. I caratteri litologici e lo stato di fagliazione e fratturazione delle rocce, nonché la presenza in quota di una fascia a carsismo diffuso di circa 100 m di spessore, la notevole diffusione di forme carsiche superficiali e la presenza a quote elevate di depressioni endoreiche tettono-carsiche, favoriscono l'infiltrazione della maggior parte dell'afflusso pluviometrico e nivale e quindi l'alimentazione di un imponente acquifero basale di tipo compartimentato che a sua volta alimenta, con una portata complessiva annua attualmente valutabile intorno a 21,5 m³/s (pari ad un volume idrico annuo di 678 milioni di mc), le sorgenti poste ai margini dell'idrostruttura, come appunto la sorgente del Rio Arno, e quindi il reticolo fluviale.

La compartimentazione dell'acquifero carsico, che nonostante la complessità della struttura può essere ritenuto, in senso regionale, unico, è determinata dalla presenza sia di discontinuità litostratigrafiche che di faglie caratterizzate da spesse fasce di cataclasi finissime, le quali, fungendo da diaframmi impermeabili sotterranei limitano, ma non impediscono totalmente, le comunicazioni tra i diversi e contigui settori dell'acquifero.

La circolazione idrica nella falda profonda, la cui principale area di ricarica è costituita dalla vasta depressione tettonica di Campo Imperatore, risulta comunque sostanzialmente condizionata, oltretutto dal reticolo carsico a prevalente sviluppo orizzontale in quota, anche dai sistemi di faglie dirette ad andamento appenninico che costituiscono zone a maggiore permeabilità e quindi a maggiore drenaggio. Le linee di flusso idrico sotterraneo sono pertanto tendenzialmente orientate nella medesima direzione e cioè dalle aree più elevate del massiccio verso la zona più depressa a SE, costituita dalla Valle del Tirino e dalla profonda incisione del fiume Aterno a Popoli.

La maggior parte dell'acqua immagazzinata nell'acquifero carbonatico va quindi ad alimentare le importanti sorgenti di bassa quota (Capo d'Acqua, S. Calisto, Capo Pescara, ecc.) poste appunto alla base SE della catena, mentre la restante parte alimenta le sorgenti di alta quota del Chiarino, di Rio Arno, del Ruzzo e della Vitella d'Oro, sul fronte esterno della catena, e le sorgenti di Vetoio, Tempera e Capo Vera sul fronte interno aquilano (Fig. 1).

Alle quote medio-alte, inoltre, sono presenti numerose sorgenti minori a regime variabile e con portate di 0,1 – 5 l/sec, alimentate da locali falde sospese di limitata estensione, generalmente contenute nei depositi quaternari o localmente sostenute dai livelli marnosi presenti a varie altezze stratigrafiche delle sequenze carbonatiche.

Gli scavi in sottoterraneo, eseguiti negli anni '70 per la realizzazione del Traforo autostradale del Gran Sasso, hanno comportato il drenaggio e quindi la mobilitazione di enormi volumi idrici, i quali sono stati sottratti in parte alle sorgenti ed in parte alle riserve permanenti dell'acquifero determinandone un consistente ed irreversibile impoverimento (Adamoli, 1990).

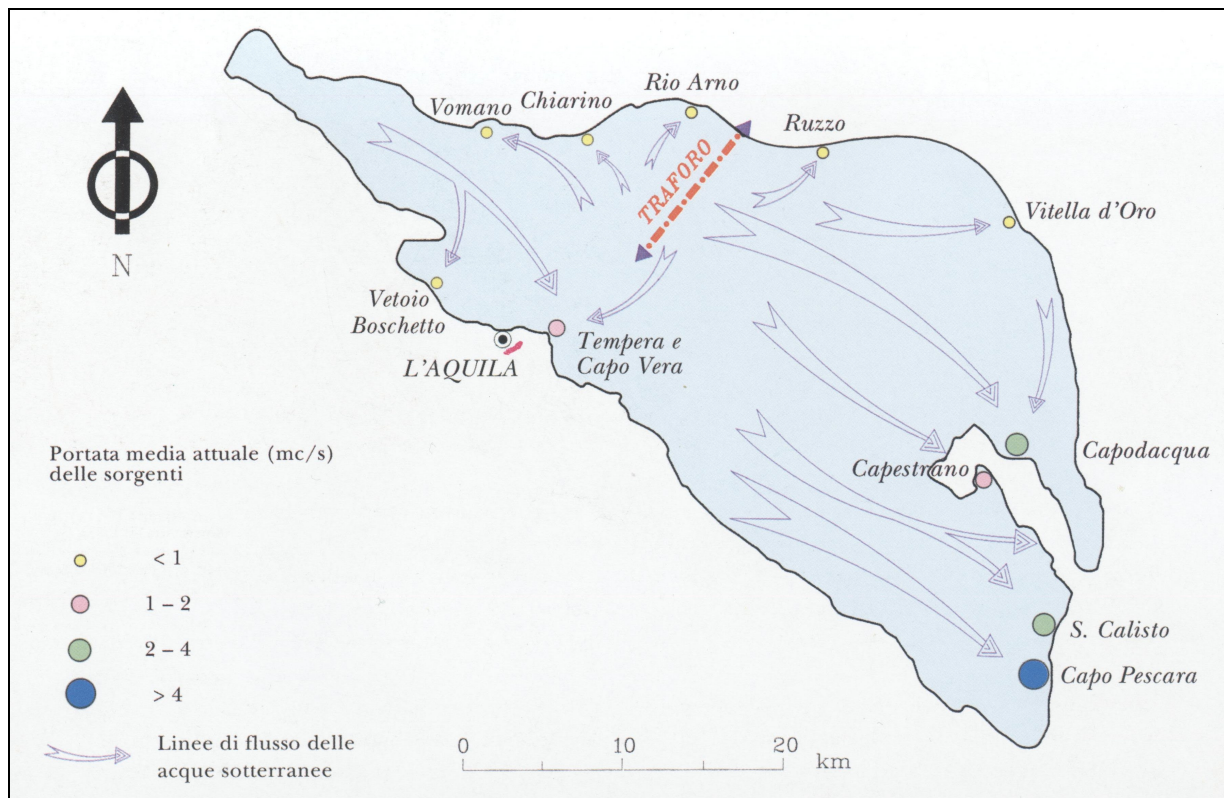


Fig. 1 – Idrostruttura carbonatica del Gran Sasso d'Italia con le principali linee di flusso dell'acquifero profondo e l'ubicazione delle più importanti sorgenti alimentate (da: Adamoli, 2006).

4.4. Assetto idrogeologico del versante dell'abitato di Pietracamela

Appena a monte dell'abitato, la sequenza del *Sintema di Pietracamela*, che si estende per circa 3 km fino ai Prati di Tivo a formare la dorsale di Capo le Vene - Peschio la Pronca, è costituita, come già visto, da ghiaie e breccie calcaree fortemente cementate ed a grossolana stratificazione sub-orizzontale che, con uno spessore massimo di circa 70 m, poggiano presumibilmente sui depositi terrigeni della *Formazione della Laga - membro del Lago di Campotosto*, i quali svolgono, dal punto di vista idrogeologico il ruolo di acquiclude.

A causa della presenza di numerosi sistemi di fratturazione che interessano estesamente tutto l'ammasso roccioso di Capo le Vene, le suddette breccie presentano un elevato grado di permeabilità per fratturazione che consente un'attiva circolazione idrica sotterranea, tra l'altro testimoniata dalla diffusa presenza, alla base delle ripide pareti di Capo le Vene, sia di numerose emergenze idriche che di cavità di varie dimensioni di origine carsica. La circolazione idrica sotterranea, a sua volta, è alimentata non solo dagli apporti

idrici diretti ma probabilmente anche da travasi sotterranei provenienti dal massiccio carbonatico del Gran Sasso.

Il recapito principale delle acque provenienti dalle brecce calcaree è costituito da alcune emergenze presenti alla base del ripido versante di Capo le Vene, in prossimità del Fosso Rio la Porta. L'emergenza principale è artificialmente captata, ma altre piccole sorgenti alimentano verosimilmente l'estesa coltre detritica a grandi blocchi che ricopre l'intero versante.

In effetti, nell'area del borgo di Pietracamela, il complesso del deposito detritico di versante, caratterizzato da eterogeneità litologica, granulometria fortemente eterometrica e da uno spessore variabile da 8 ad oltre 40 m., poggia, come già detto, sopra un substrato pochissimo permeabile costituito dalle *Argille ad Orbulina* e dalla sottostante litofacies marnoso-calcarenitica delle *Marne con cerroghna*, e pertanto contiene una falda idrica sospesa, tra l'altro evidenziata anche dai dati piezometrici dei sondaggi geognostici eseguiti nel passato, che alimenta le numerose emergenze ubicate in località "le Fonti" (circa 900 m s.l.m.) a valle dell'abitato di Pietracamela.

L'alimentazione di tale falda, che sicuramente è da ritenere causa determinante dei fenomeni franosi che coinvolgono il versante dell'abitato di Pietracamela, è assicurata dall'infiltrazione di acque meteoriche e da perdite laterali provenienti da monte, soprattutto, come già visto, dalle brecce calcaree di Capo le Vene e, solo parzialmente, dagli strati e banchi fratturati dell'associazione arenacea.

5. RISCHI GEOLOGICI E PIANIFICAZIONE URBANISTICA: INDIRIZZI E CRITERI GENERALI

Scopo del presente studio, come già accennato nella parte introduttiva, è stato quello di fornire un esauriente quadro conoscitivo dei caratteri geologici, geomorfologici ed idrogeologici, del territorio comunale di Pietracamela, e quindi delle condizioni di rischio geologico, utile soprattutto per verificare le potenzialità d'uso del territorio nei riguardi degli strumenti urbanistici e per valutare e programmare eventuali interventi di difesa del suolo e/o di recupero e riqualificazione ambientale e territoriale.

Di seguito vengono analizzate singolarmente le cause intrinseche ed esterne che determinano un fattore di rischio per la popolazione, gli insediamenti e le strutture a rete.

Sono stati distinti tre ambiti di rischio in funzione dell'agente scatenante: rischio geomorfologico, rischio sismico e rischio idrogeologico.

RISCHIO GEOMORFOLOGICO

In tale ambito vengono presi in considerazione tutti quei fenomeni di origine gravitativa che in condizioni statiche, a seguito della variazione degli equilibri tensionali, si attivano lungo i versanti.

Il territorio comunale di Pietracamela risulta interessato prevalentemente da fenomeni di soliflusso e scorrimento rototraslazionale maggiormente concentrati ed estesi alla porzione collinare posta sul fronte montano.

Localmente in prossimità di affioramenti litoidi si registrano fenomeni di crollo dovuti alla presenza di fratture e lesioni pervasive che isolano e destabilizzano volumi litoidi.

I fenomeni di soliflusso sono caratterizzati da movimenti molto lenti ma incessanti delle coltri superficiali a granulometria prevalentemente fine, che determinano forme particolari sul terreno: mammellonature, gibbosità, contropendenze, ecc..

Termini terrigeni superficiali, fini più o meno plastici ma molto sensibili all'acqua in presenza di essa abbattano bruscamente la resistenza al taglio dando luogo a forme d'instabilità gravitative che si possono manifestare con accelerazioni improvvise in concomitanza di forti precipitazioni e su versanti piuttosto acclivi dando vita a soliflussi estesi ma dallo spessore limitato.

Il rilevamento ha permesso di evidenziare che, nella maggior parte dei casi, il problema del soliflusso può essere circoscritto e controllato in termini di stabilità generale del versante, ma diviene importante puntualmente essendo la causa di ammaloramenti del manto stradale e di deformazioni e lesioni dei manufatti (muri di sostegno, muri di case, ecc).

In tali condizioni si dovrà porre attenzione alla corretta progettazione delle fondazioni, prevedendo degli adeguati sostegni ai fronti di scavo e agli sbancamenti ma soprattutto alla corretta regimazione delle acque.

Quando la mobilitazione per gravità risulta interessare volumi più estesi, con possibilità di individuazione di una superficie di scivolamento profonda, i fenomeni franosi superficiali, favoriti dalla presenza di potenti coperture semipermeabili, evolvono quali scorrimenti rototraslazionali.

Anche per tali fenomeni, al fine di limitarne l'estensione e la riattivazione risulta di primaria importanza la regimazione delle acque superficiali e profonde oltre che al contrasto delle spinte tangenziali.

I fenomeni di crollo sono rilegati alle pareti litoidi con assetto aggettante o che formino pareti verticali affioranti.

La loro dinamica è strettamente correlata con la perdita di equilibrio di masse litoidi prospicienti i crinali o scarpate dove si incontrano svariate fratture che isolano diedri e poliedri.

Fenomeni di crollo sono possibili sulle ripide pareti di breccie calcaree cementate, prevalentemente condizionati dalla presenza di numerose discontinuità strutturali. Lungo tali pareti sono infatti presenti porzioni più o meno rilevanti di ammassi rocciosi e blocchi poliedrici isolati di varie dimensioni in equilibrio precario le cui principali cause scatenanti sono da ricercare essenzialmente nelle forti sovrappressioni provocate dall'acqua all'interno delle fratture e legate agli eventi meteorologici e di scioglimento delle nevi, e nei cicli di gelo-disgelo diurni e stagionali. Anche gli scuotimenti dovuti ad eventi sismici possono costituire un'importante causa scatenante di frane sismoindotte.

Un fenomeno franoso complesso di notevoli dimensioni, che sembra collocato in una depressione tettonica delimitata da faglie distensive diversamente orientate, interessa gran parte del versante su cui è ubicata Pietracamela.

Tale fenomeno viene individuato dalla letteratura specializzata quale Deformazione Gravitativa Profonda di Versante (DGPV) dalla complessa dinamica evolutiva che richiederebbe un monitoraggio di tutta l'area abbastanza vasta, mediante telerilevamento, per meglio definire il grado di attività del fenomeno.

RISCHIO SISMICO

I fattori che concorrono alla definizione del rischio sismico sono legati alla pericolosità sismica, derivante dalle caratteristiche dei terremoti e dalle condizioni sismotettoniche del territorio, ed alla suscettibilità sismica, rappresentata dalla pericolosità indotta dalle situazioni geografiche e fisiche riscontrate nell'area di studio.

La pericolosità sismica si riferisce ai caratteri, ai meccanismi focali e alla fenomenologia dei terremoti, (energia da loro irradiata, profondità alla quale avvengono, loro ricorrenza ecc.).

La suscettibilità sismica è legata ai fattori locali geologici, morfologici, idrologici sia superficiali sia del substrato, che possono ampliare o ridurre le vibrazioni sismiche o costituire situazioni di precario equilibrio geomorfologico.

E' quindi importante determinare la natura litologica, tettonica e meccanica dei depositi per una corretta valutazione della risposta sismica locale; infatti le diverse litologie hanno comportamenti fisici differenti, relativamente alla velocità delle onde sismiche, al fattore di smorzamento e ai moduli di taglio.

Il territorio in esame può essere distinto in tre fasce, zone stabili, zone stabili suscettibili di amplificazione locale e zone suscettibili di instabilità.

Le zone stabili sono quelle ove non si ipotizzano effetti di alcuna natura se non lo scuotimento funzione dell'energia rilasciata e dalla distanza dell'evento sismico. Queste coincidono con le porzioni ove il substrato geologico risulta affiorante con morfologia poco acclive.

Le zone stabili suscettibili di amplificazione locale coincidono con quelle aree ove ci si attende un'amplificazione del moto sismico in dipendenza della litostratigrafia e dell'assetto morfologico.

Queste zone sono contraddistinte dalla presenza di terreni di copertura detritica di vario spessore al di sopra di un substrato più o meno fratturato.

Le zone suscettibili di instabilità gli effetti sismici attesi fanno riferimento a deformazioni permanenti e fenomeni di amplificazione del moto.

La natura e tipologia degli effetti deformativi riguardano processi di instabilità del versante di tipo gravitativo, fenomeni di liquefazione, attivazione di faglie e cedimenti differenziali.

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona (condizioni locali) possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area. Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti i quali in funzione delle proprie caratteristiche tecniche, possono indurre due tipologie di effetti locali: quelli di sito o di amplificazione sismica locale e quelli dovuti ad instabilità.

L'amplificazione sismica locale interessa tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese; tali effetti sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il substrato, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali. I fenomeni amplificativi possono essere determinati dall'andamento topografico dell'area che può favorire la focalizzazione delle onde sismiche (bacini intermontani, valli incassate, culminazioni e creste) e/o dalla natura litologica della successione stratigrafica, scalini morfologici derivanti dalla presenza di termini litologici più competenti quali terrazzi alluvionali di natura conglomeratica o intercalazioni arenitiche.

Gli effetti di amplificazione dovuti alla litologia si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte quali bacini sedimentari, chiusure laterali, corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia ecc. e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche tali da generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno, fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno e fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.

Inoltre, le onde sismiche investono le costruzioni producendo effetti dannosi, legati alla propagazione delle vibrazioni della fondazione, diverse in funzione della litologia interessata, alla struttura in elevazione.

Sotto quest'aspetto le rocce disgregate e profondamente alterate sono più pericolose dei terreni solidi, coerenti e compatti; infatti, il manufatto edificato sopra una roccia compatta cui è solidamente ancorato deve necessariamente vibrare con il suolo sottostante ed identificarsi con esso rispetto alle vibrazioni medesime, mentre in un terreno incoerente e friabile, o comunque disgregato, le vibrazioni possono essere amplificate con disastrose conseguenze per gli edifici.

Gli effetti di instabilità interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese e sono

rappresentati in generale da fenomeni di instabilità consistenti in veri e propri collassi e talora movimenti di grandi masse di terreno incompatibili con la stabilità delle strutture. A tale categoria fanno riferimento tutti i fenomeni gravitativi che vanno ad interessare i versanti in materiale sciolto o in roccia alterata che nel sisma vedono un fattore di innesco sia direttamente a causa dell'accelerazione esercitata sul suolo sia indirettamente a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali (versanti montani in quota, fasce detritiche, conoidi di deiezione).

Nel caso di terreni particolarmente scadenti dal punto di vista delle proprietà fisico meccaniche si possono verificare fenomeni di scivolamento e rottura connessi a deformazioni permanenti del suolo; per terreni granulari sopra falda sono possibili cedimenti a causa di fenomeni di addensamento del materiale, mentre per terreni granulari fini (sabbiosi) saturi di acqua sono possibili colamenti parziali o generalizzati a causa dei fenomeni di liquefazione.

Nelle porzioni carbonatiche interessate da carsismo sotterraneo o nelle aree interessate da depositi franosi deformativi profondi con presenza di cavità naturali o antropiche, si possono verificare fenomeni di subsidenza più o meno accentuati in relazione al crollo parziale o totale delle cavità sotterranee.

Nel caso di aree interessate da particolari strutture geologiche sepolte e/o affioranti in superficie tipo contatti stratigrafici o tettonici quali faglie sismogenetiche si possono verificare movimenti relativi verticali ed orizzontali tra diversi settori areali che conducono a scorrimenti e cedimenti differenziali interessanti le sovrastrutture.

RISCHIO IDROGEOLOGICO

Tale categoria prende in considerazione le problematiche in termini di pericolosità, indotte dai flussi idrici profondi rispetto alla salvaguardia dell'equilibrio dell'ambiente circostante.

La presenza diffusa di termini detritici più o meno permeabili, favorisce la veicolazione profonda delle acque meteoriche che infiltrandosi causano il dilavamento della frazione fine del deposito. L'asportazione di materiale entro lo scheletro solido del deposito causa un addensamento e costipamento dei materiali più grossolani, che in superficie si traduce quale abbassamento del piano topografico e quindi il cedimento disomogeneo del terreno.

In funzione delle problematiche sin qui esposte che interessano il territorio comunale, vengono forniti dei criteri generali di salvaguardia per le opere di nuova realizzazione ed in ristrutturazione.

Pertanto ogni qualvolta si proceda alla realizzazione di nuove opere o al ripristino funzionale di strutture esistenti, si dovrà in primo luogo procedere all'esecuzione di prove geognostiche e geofisiche al fine di evidenziare possibili problematiche puntuali di natura geologica. In funzione dei litotipi presenti, valutare il rischio di liquefazione ed il grado di addensamento e costipamento indotto nei materiali sia dallo scuotimento sismico sia a causa di flussi idrici profondi, e di conseguenza realizzare strutture fondali in grado di assorbire e smorzare fenomeni di assestamento e cedimenti differenziali.

Sarà opportuno verificare sempre la possibile presenza di cavità nel sottosuolo, siano esse naturali che di origine antropica e valutarne la stabilità ed il grado di interazione con le opere in superficie e procedere se necessario al consolidamento delle stesse.

Effettuare sempre la verifica e stima dell'interazione struttura-terreno affinché le opere fondali siano in grado di sostenere e ripartire correttamente ed in sicurezza, sul terreno i carichi gravanti.

Dove saranno adottate fondazioni superficiali, esse dovranno sempre essere molto rigide per far fronte ai fenomeni di cedimento differenziale del terreno superficiale più suscettibile alle variazioni del grado di saturazione.

Gli interventi di recupero e ristrutturazione mediante ricostruzione dei fabbricati dovranno prevedere sempre delle coperture leggere in materiale a bassa densità, quali in legno, per limitare i carichi trasmessi al terreno.

Dal punto di vista prettamente sismico, la non proporzionalità tra le caratteristiche dell'evento sismico (pericolosità) e i risultati che esso determina sulle comunità insediate nei territori colpiti è il più delle volte dovuto all'inadeguatezza delle costruzioni, spesso vetuste o mal costruite.

Per convivere con il rischio sismico è necessaria quindi la conoscenza del livello di pericolosità sismica, in modo da progettare edifici e opere adeguati a tale livello.

Va tenuto presente che i danni e le vittime si possono risparmiare attraverso la microzonazione sismica, ma soprattutto attraverso l'adozione generalizzata di:

1. criteri costruttivi e di consolidamento antisismici in tutte le aree esposte a rischio;
2. progettazione ed uso del territorio rispettosi delle caratteristiche geotecniche locali dei suoli e delle rocce e delle caratteristiche di stabilità generale dei versanti. Molto spesso,

infatti, i terremoti non fanno che aggravare situazioni già precarie dal punto di vista statico.

Si ribadisce la necessità di eseguire, nel corso delle progettazioni, verifiche geologiche e geotecniche in condizioni statiche e dinamiche, puntuali prima e dopo gli interventi.

Avendo le problematiche geologiche riscontrate nell'ambito comunale estensione ed intensità variabile, esse dovranno essere valutate puntualmente nell'ambito di ogni intervento sul territorio.

E' comunque importante ricordare che, anche se il rischio geomorfologico è assente, dovrà essere posta massima cura nelle scelte progettuali, da definire sulla base d'indagini in sito con rilievi geomorfologici puntuali, valutando la stabilità con le modifiche da apportare per non turbare eccessivamente gli equilibri attuali e per verificare le modalità, le prescrizioni e gli accorgimenti necessari.

Autori citati

ADAMOLI L. (1990) - *Idrogeologia del massiccio carbonatico del Gran Sasso e conseguenze idrogeologiche degli scavi autostradali*. "Geologia Tecnica" Rivista dell'Ordine Nazionale dei Geologi, n. 3, 4-15.

ADAMOLI L. (1992) - *Evidenze di tettonica di inversione nell'area Corno Grande - Corno Piccolo (Gran Sasso d'Italia)*. Boll. Soc. Geol. It., 111, 53-66.

- ADAMOLI L. (1998) – *Studio dell'ambiente geologico, geomorfologico ed idrogeologico della provincia di Teramo*. Collana Territorio e Ambiente della Provincia di Teramo, Vol. n. 2, 5-117.
- ADAMOLI L. (2006) - *Le acque superficiali e sotterranee dell'Abruzzo*. In: "L'acqua: politica del futuro". A.I.I.G., Sezione Abruzzo, Ed. Andromeda, Teramo, 60-204.
- CENTAMORE E., NISIO S., PRESTININZI A. & SCARASCIA MUGNOZZA G. (1996-97) – *Evoluzione morfodinamica e fenomeni franosi nel settore periadriatico dell'Abruzzo settentrionale*. Studi Geologici Camerti, XIV, 9-27.
- D'ALESSANDRO L., DE SISTI G., D'OREFICE M., PECCI M. & VENTURA M. (2003) - *Geomorphology of the summit area of the Gran Sasso d'Italia (Abruzzo, Italy)*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 26, 125-141.
- GIRAUDI C. & FREZZOTTI M. (1995) - *Palaeoseismicity in the Gran Sasso Massif (Abruzzo, central Italy)*. Quaternary. International., 25, 81-93.
- GIRAUDI C. (2000) - *Le oscillazioni oloceniche del Ghiacciaio del Calderone, Gran Sasso d'Italia (Abruzzo - Italia)*. Il Quaternario, 13 (1/2), 31-38
- PECCI M. & D'AQUILA P. (in stampa) – *Stato dell'arte degli studi geomorfologici nelle aree del Corno Grande (versante settentrionale) e del Corno Piccolo-Pizzo Intermesoli (Gran Sasso d'Italia, Provincia di Teramo)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, in stampa.