

Comune di Angolo Terme (Brescia)

COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

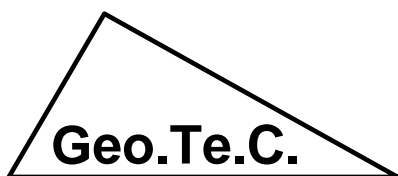
DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

Elaborato A

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Aggiornamento febbraio 2010

Dr. geol. Fabio Alberti



Geo.Te.C. - Geologia Tecnica Camuna
Studio Associato - tel. /fax: 0364-533637
Via Albera, 3 - Darfo Boario Terme (BS)
E-mail: info@geotec-studio.it

Indice

PREMESSA.....	4
AGGIORNAMENTO FEBBRAIO 2010.....	5
<i>FASE DI ANALISI</i>	7
1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	7
2. ASPETTI GEOLOGICI.....	7
2.1 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO D'INSIEME.....	8
2.1.a - Assetto strutturale e tettonico.....	8
2.1.b - Aspetti stratigrafici relativi ai depositi superficiali.....	9
2.2 - SUBSTRATO ROCCIOSO.....	11
2.3 - DEPOSITI SUPERFICIALI.....	15
3. ASPETTI GEOMORFOLOGICI.....	20
3.1. QUADRO GEOMORFOLOGICO LOCALE.....	21
3.2. DESCRIZIONE DEGLI ELEMENTI GEOMORFOLOGICI.....	22
3.2.a - Carta geomorfologica di inquadramento (scala 1:10.000).....	22
3.2.a.1 - FORME, PROCESSI E DEPOSITI LEGATI ALLA GRAVITA'.....	22
3.2.a.2 - FORME, PROCESSI E DEPOSITI LEGATI ALLE ACQUE SUPERFICIALI.....	26
3.2.a.3 - ELEMENTI IDROLOGICI, IDROGRAFICI E IDROGEOLOGICI.....	29
3.2.a.4 - FORME, PROCESSI E DEPOSITI LEGATI ALL'ATTIVITA' GLACIALE E NIVALE.....	30
3.2.a.5 - FORME CARSICHE.....	32
3.2.a.6 - FORME, PROCESSI E DEPOSITI ANTROPICI.....	32
4. ASPETTI METEO-CLIMATICI, IDROGEOLOGICI, Idrografici ed idrologici.....	36
4.1 - ASPETTI METEO-CLIMATICI.....	36
4.2. - ASPETTI IDROGEOLOGICI GENERALI.....	38
4.2.a. - Sorgenti captate.....	39
4.2.b. - Pozzi privati per uso termale.....	41
4.2.c. - Zone di tutela delle opere di captazione delle acque potabili.....	42
4.3. - Sistema idrografico.....	43
4.3.a. - Dinamica morfologica e tendenze evolutive generali.....	44
4.3.b. - Aree potenzialmente alluvionabili.....	44
4.4. - ASPETTI IDROLOGICI.....	45
4.4.a. - Valutazione della portata di massima piena dei corsi d'acqua.....	46
4.4.b. - Valutazione della magnitudo.....	49

5. VALUTAZIONE E ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITA' MORFOLOGICA	49
5.1 - ANALISI DELLA PROPAGAZIONE DELLE COLATE LUNGO I CONOIDI	50
5.1.a. Pericolosità su base morfologica	50
5.1.b. - Metodo semi-empirico per la mappatura del deposito di materiale solido da colata detritica	51
5.1.c. - Classi di pericolosità nelle aree di conoide	53
5.1.d. - Condizioni di pericolosità nelle aree di conoide	54
5.1.e. - Vincoli e prescrizioni connessi al grado di pericolosità per le aree di conoide	59
5.2. ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITA' GENERATA DA CROLLI IN ROCCIA	61
5.2.a. - Analisi geologico-strutturale delle pareti rocciose	61
5.2.b. - Individuazione di traiettorie di caduta blocchi	63
5.2.c. - Modellazione delle traiettorie di caduta blocchi	63
5.2.d. - Sezioni e taratura modello	64
5.2.e. - Risultati della modellazione	65
5.2.f. - Valutazione dell'attività relativa delle aree omogenee di origine dei crolli	66
5.2.g.- Zonazione finale della pericolosità	66
5.2. h. - Descrizione delle aree	67
5.3. AREE POTENZIALMENTE ALLUVIONABILI LUNGO IL TORRENTE DEZZO	68
6. ANALISI DEL RISCHIO SISMICO	69
6.1 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO	69
6.2 - RISPOSTA SISMICA LOCALE	69
6.3. ANALISI DI PRIMO LIVELLO - CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE	72
7. CARTA DEI VINCOLI	75
7.a. – Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile	75
7.b. – Vincoli di polizia idraulica	76
7.c. -Vincoli derivanti dalla “Carta del dissesto con legenda uniformata a quella del PAI - delimitazione delle aree in dissesto”.	76
<i>FASE DI SINTESI E VALUTAZIONE</i>	75
8. CARTA DI SINTESI	76
8.1. - AREE PERICOLOSE DAL PUNTO DI VISTA DELL'INSTABILITA' DEI VERSANTI	77
8.1.a. - Aree di frana attiva	77
8.1.b. - Aree di frana quiescente	77
8.1.c. - Aree di frana inattiva	78
8.1.d. - Aree interessate da diffusi ed intensi fenomeni di degradazione superficiale ed aree che possono risentire dell'influenza di tali fenomeni	78
8.1.e. - Aree acclivi e/o interessate direttamente o indirettamente da problemi di stabilità	78
8.1.f. - Aree poco acclivi e/o potenzialmente interessate direttamente/indirettamente da problemi di stabilità	78
8.1.g. - Aree interessate da fenomeni di valanga con pericolosità da media ad elevata	79
8.1.h - Aree potenzialmente interessabili da fenomeni di valanga con pericolosità bassa	79
8.1.i. - Aree a pericolosità potenziale per caduta di blocchi rocciosi	79

8.2. - AREE POTENZIALMENTE INTERESSABILI DA ESONDAZIONE E TRASPORTO IN MASSA SU CONOIDE	81
8.3. - AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA IDROGEOLOGICO	82
8.3.a. - Aree con forme carsiche di superficie ed interessate da carsismo profondo	82
8.3.b. - Aree con forme carsiche di superficie, potenzialmente interessate da carsismo profondo.....	82
8.3.c. - Zone di Rispetto (ZR) delle captazioni pubbliche ad uso potabile	82
8.3.d. - Zone di Protezione (ZP) delle captazioni pubbliche ad uso potabile	82
8.3.e. - Area di attenzione per le captazioni di acqua delle Terme di Angolo	83
8.4. - AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA IDRAULICO	83
8.4.a. - Alvei principali ed impluvi minori e rispettive aree di pertinenza	83
8.4.b. - Aree interessabili da fenomeni di erosione fluviale e non idoneamente protette	83
8.4.c. - Aree potenzialmente inondabili individuate con criteri geomorfologici	84
8.4.d. - Aree alluvionabili per eventi di piena con tempo di ritorno di 100-200 anni	84
8.4.e. - Aree alluvionabili per piene catastrofiche (tempo di ritorno superiore a 200 anni).....	84
8.4.f. - Specchio d'acqua	85
8.5. - AREE CHE PRESENTANO SCADENTI CARATTERISTICHE GEOTECNICHE.....	85
8.5.a. - Aree con riporti di materiale.....	85
8.5.b. - Aree con terreni aventi caratteristiche geotecniche scadenti.....	85
8.5.c. - Aree con terreni aventi caratteristiche geotecniche mediocri.....	85
8.6. - PIANO STRAORDINARIO PER LE AREE A RISCHIO IDROGEOLOGICO MOLTO ELEVATO (L. 267/98)	85
8.6.a. - ZONA 1 / ZONA 2.....	85
 <i>FASE DI PROPOSTA</i>	 86
 9. CARTA DELLA FATTIBILITÀ' GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO - CARTA DEI RISCHI IDRAULICI ED IDROGEOLOGICI - NORME GEOLOGICHE DI PIANO.....	 86
 10. - BIBLIOGRAFIA.....	 89

PREMESSA

Lo studio relativo alla componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio del Comune di Angolo è stato redatto nel settembre 2009 secondo la d.g.r. 28 maggio 2008 n. 8/7374 e in aggiornamento del precedente studio geologico del maggio 2005, integrandolo con la valutazione degli aspetti relativi alla sismicità e con l'estensione della fattibilità geologica a tutto il territorio comunale e rimandando ad esso per tutta la fase di analisi relativa agli aspetti stratigrafici, litologici, morfologici, idrogeologici, climatici ed idrologici.

Successivamente all'adozione, in riferimento ad una verifica complessiva degli elaborati prodotti nel settembre 2009 ed in relazione alla richiesta di integrazione da parte della Provincia di Brescia (Aspetto Territoriale – prot. n. 0016563/10/BA del 12/02/2010), rispetto agli elaborati cartografici ed alla relazione illustrativa riguardanti la fase di analisi, è stato redatto il presente aggiornamento in data febbraio 2010.

Il presente aggiornamento, in data febbraio 2010, integra pertanto lo studio del settembre 2009 relativo alla componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio del Comune di Angolo con gli aspetti riguardanti la fase di analisi e con alcune correzioni ed integrazioni.

In accordo con le normative di riferimento l'aggiornamento è costituito dalle seguenti tavole cartografiche.

Fase di analisi

- Tavola 7 - *Carta geologica* - scala 1:10.000 per tutto il territorio comunale
- Tavola 8 – *Carta ge morfologica* - scala 1:10.000 per tutto il territorio comunale
- Tavola 9 - *Carta idrogeologica* - scala 1:10.000 per tutto il territorio comunale
- Tavola 1 - *Carta della pericolosità sismica locale (analisi di 1°livello)* - scala 1:10.000 per tutto il territorio comunale

Fase di sintesi/valutazione

- Tavola 2 - *Carta dei vincoli* - scala 1:10.000 per tutto il territorio comunale
- Tavola 3 - *Carta di sintesi* - scala 1:10.000 per tutto il territorio comunale

Fase di proposta

- Tavola 4 a,b,c,d,e,f,,g - *Carta di fattibilità delle azioni di piano* - scala 1:2.000 per settori urbanizzati e il loro intorno
- Tavola 5 - *Carta di fattibilità delle azioni di piano* - scala 1:10.000 per tutto il territorio comunale
- Tavola 6 - *Carta dei rischi idraulici ed idrogeologici: delimitazione delle aree in dissesto con legenda uniformata alla legenda PAI* - scala 1:10.000 per tutto il territorio comunale

La descrizione degli aspetti riguardanti la fase di analisi e di sintesi/valutazione è contenuta nella presente Relazione Illustrativa (Elaborato A), accompagnata dai relativi allegati, mentre la normativa conseguente alla fase di proposta è contenuta nelle Norme Geologiche di Piano (Elaborato B).

AGGIORNAMENTO FEBBRAIO 2010

Per quanto riguarda la fase di analisi si è fatto diretto riferimento allo studio del maggio 2005 confermando interamente la Carta Geologica e la Carta Idrogeologica e riprendendo i relativi capitoli descrittivi contenuti nella relazione illustrativa mentre è stata aggiornata la Carta Morfologica sia per tenere conto delle variazioni avvenute successivamente al 2005 sia modificando alcuni criteri di rappresentazione dei fenomeni.

Le variazioni rispetto alla situazione rappresentata nella carta morfologica del maggio 2005 sono legate principalmente a fenomeni franosi, con la comparsa di nuovi fenomeni od il cambiamento dello stato di attività di altri, anche in seguito ad interventi di sistemazione, ed alle opere antropiche realizzate successivamente al 2005, soprattutto interventi di sistemazione idraulica ed opere di difesa dalla caduta di blocchi rocciosi.

Per quanto riguarda i criteri di rappresentazione sono state riportate in forma areale tutte le pareti rocciose potenzialmente soggette a fenomeni di caduta blocchi, anche se tratta di eventi del tutto episodici, e tutte le aree soggette a fenomeni di valanga.

Rispetto alla fase di sintesi e valutazione la Carta dei Vincoli è stata redatta per la prima volta nel settembre 2009 lo studio geologico relativo al PGT e con il presente aggiornamento in data febbraio 2010 la carta del settembre 2009 è stata modificata in parte in riferimento alle modificazioni introdotte nella Carta Morfologica, nella Carta di Sintesi e conseguente nella Carta dei rischi idraulici ed idrogeologici le cui categorie di legenda rientrano pari pari nelle voci di legenda della Carta dei Vincoli.

Nello studio geologico del maggio 2005 la carta di sintesi è stata redatta alla scala 1:2.000 per le sole aree urbanizzate ed un loro intorno significativo mentre con lo studio relativo al PGT è stata estesa, alla scala 1:10.000, a tutto il territorio comunali.

La carta è stata quindi redatta sulla base della cartografia relativa allo Studio geologico del maggio 2005, in particolare della carta morfologica, integrata e aggiornata con sopralluoghi e rilievi finalizzati a verificare eventuali variazioni e ad approfondire localmente le tematiche.

Per le aree urbanizzate sono state sostanzialmente confermate, salvo pochi aggiornamenti locali dovuti a variazioni successive, le valutazioni relative alla carta del maggio 2005. In particolare le variazioni sono legate principalmente alla realizzazione di interventi, come le barriere paramassi in via Bregno a Mazzunno e la vasca di sedimentazione in via Bilinghera ad Angolo, che hanno portato a modificare localmente le condizioni di pericolosità.

Per le aree non urbanizzate, rispetto alla carta redatta nel settembre 2009, nel presente aggiornamento in data febbraio 2010 sono state fatte alcune modifiche locali, sulla base sia di sopralluoghi di terreno sia di analisi di maggiore dettaglio che hanno portato in alcuni casi a modificare la valutazione delle condizioni di pericolosità per le aree. In particolare è stata modificata la valutazione della pericolosità rispetto ai fenomeni di caduta di blocchi per alcune piccole aree situate nel settore di versante posto a valle e poco a monte di Anfurro, sui versanti destro

e sinistro della Valle Fada, nei pressi di malga Guccione, sul fianco destro della Valle di Poia ed alla testata e sul fianco sinistro della Valle di S. Giovanni.

Nello Studio Geologico del maggio 2005 la Carta della Fattibilità è stata redatta, alla scala 1:2.000, per le sole aree urbanizzate ed un loro intorno significativo: in questa sede la Carta della Fattibilità è stata estesa, alla scala 1:10.000, a tutto il territorio comunale.

Per le zone urbanizzate la carta della fattibilità redatta nel settembre 2009 ha sostanzialmente confermato, salvo pochi aggiornamenti locali dovuti a variazioni successive, le valutazioni relative alla carta del maggio 2005.

Per le aree esterne alla zona urbanizzate la carta relativa al presente aggiornamento in data febbraio 2010 contiene piccole variazioni rispetto alla carta del settembre 2009, introdotte in seguito alle modificazioni fatte sulla carta di sintesi in base ad approfondimenti di carattere locale.

Per quanto riguarda la Carta dei rischi idraulici ed idrogeologici è stata sostanzialmente confermata la carta contenuta nello studio geologico del maggio 2005, con alcuni aggiornamenti relativi sia alle situazioni che hanno subito successivamente delle variazioni significative sia ad un maggior dettaglio dovuto ad un approfondimento di indagine su alcune situazioni sia ad una revisione dei criteri utilizzati per l'attribuzione delle aree alle categorie previste dalla legenda.

Le variazioni più evidenti rispetto alla carta contenuta nello studio del maggio 2005 sono le seguenti:

- inserimento delle valanghe in modo areale, considerando per esteso le zone di alimentazione e non solo le incisioni entro le quali si incanalano e si arrestano le masse nevose;
- non sono stati più considerati come conoidi non recentemente riattivati o comunque completamente protetti da opere di difesa (Cn) i settori antichi e morfologicamente relitti dei conoidi alluvionali presenti nella zona di Angolo - Valle di S. Giovanni, Re Barzino, Valle Bassile e Valle di Sè -;
- sono state assegnate alla categoria delle frane quiescenti (Fq) non solo i settori di parete rocciosa interessati frequentemente da fenomeni di caduta di blocchi e le zone dove si possono espandere questi fenomeni, come nella carta del maggio 2005, ma anche i settori di parete rocciosa potenzialmente interessati dai fenomeni di caduta di blocchi e le relative zone di espansione che, nella carta del maggio 2005, erano stati in parte assegnati alla categoria delle frane stabilizzate (Fs); sono state invece tolte dalla classe delle frane stabilizzate (Fs) alcuni i settori di falde detritiche non più attive;

Per il resto sono state apportate piccole modificazioni locali al perimetro delle aree sia grazie al rilievo di maggiore dettaglio finalizzato a valutare la fattibilità geologica delle aree sia in seguito ad effettive variazioni delle condizioni morfologiche locali come la riattivazione, l'ampliamento o la comparsa di fenomeni franosi oppure l'esecuzione di opere di consolidamento o di difesa.

FASE DI ANALISI

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il territorio comunale di Angolo Terme ha un'estensione di circa 30 Km² e coincide in gran parte con il tratto inferiore della valle del torrente Dezzo, comprendendone il fondovalle, i versanti e le creste che fanno da spartiacque con i bacini adiacenti. Nel territorio comunale sono compresi anche un tratto del versante destro della Val Camonica, dove si trova la frazione di Anfurro, ed un tratto del versante settentrionale del M. Altissimo, rivolto verso il bacino del torrente Trobiolo.

Gran parte del territorio comunale è inoltre caratterizzato da una pendenza media relativamente elevata in ragione delle condizioni litologiche e strutturali che hanno orientato l'azione degli agenti morfologici. In ragione della disposizione generalmente a reggipoggio delle formazioni rocciose i versanti del tratto inferiore della valle del torrente Dezzo sono infatti caratterizzati, fino alla loro sommità, dalla presenza di pareti rocciose alte e ripide solo a tratti intercalate da ripiani morfologici, in genere poco estesi, occupati da nuclei rurali o da pascoli. Anche il fondovalle risulta relativamente angusto perchè tutto il tratto inferiore del torrente Dezzo scorre entro forre strette e profonde e si amplia solamente nella zona di Angolo, all'altezza dei ripiani dei terrazzi morfologici, incisi dal torrente entro una potente coltre di depositi superficiali, sui quali si trovano oltre alla sede comunale anche le frazioni di Terzano, Mazzunno e Dazze. Sempre in ragione della disposizione strutturale delle formazioni risultano invece mediamente poco acclivi le zone di cresta che sono spesso occupate da pascoli

Il territorio comunale è compreso nelle Sezioni *D4a2*, *D4a3*, *D4b2* e *D4b3* della Cartografia Tecnica Regionale alla scala 1:10.000, utilizzata per la cartografia di inquadramento.

2. ASPETTI GEOLOGICI

Nell'ambito della fase d'analisi dello studio geologico del maggio 2005 sono state redatte una *Carta geologica di inquadramento* (scala 1:10.000) estesa a tutto il territorio comunale e una *Carta della dinamica geomorfologica di dettaglio con elementi litologici e geotecnici* (scala 1:2000) per i soli ambiti territoriali interessati da urbanizzazione: nel presente aggiornamento è stata riproposta solamente la carta alla scala 1:10.000 estesa a tutto il territorio comunale, rimandando allo studio del maggio 2005 per l'altra carta.

Nella Carta geologica di inquadramento sono rappresentate le litologie lapidee che costituiscono il substrato roccioso, affioranti e subaffioranti, e la coltre dei depositi superficiali. Le litologie del substrato roccioso sono state distinte adottando le unità formazionali individuate nella cartografia geologica d'Italia alla scala 1:100.000, mentre per quanto riguarda i depositi superficiali sono stati rappresentati solo i lembi caratterizzati da estensione e potenza significativi alla scala della carta, distinguendolo tra loro in ragione delle genesi e dell'età.

Nella cartografia è inoltre rappresentato l'assetto strutturale fondamentale del settore in esame.

Per quanto riguarda gli aspetti litologici, la legenda di queste carte è stata strutturata operando una prima separazione tra i materiali, distinguendo le litologie sciolte dalle litologie lapidee. I *terreni* (litologie sciolte) sono dei materiali i cui costituenti, individui cristallini o clasti di varia origine, composizione e dimensione, non sono legati tra loro o lo sono, ma da forze coesive relativamente deboli. Le rocce (litologie lapidee) sono invece dei materiali i cui costituenti sono tenuti uniti da forze coesive tali da conferire all'insieme una compattezza apprezzabile. Alle unità della classe delle litologie sciolte corrispondono generalmente i depositi superficiali mentre alla classe delle litologie lapidee appartengono soprattutto i materiali costituenti il substrato. All'interno di queste due classi i vari materiali sono stati distinti tra loro in base ai caratteri di composizione, tessitura e struttura, espressi anche mediante connotazioni di tipo genetico, nei casi in cui esiste una diretta relazione tra genesi e litologia, come spesso accade per i depositi superficiali.

2.1 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO D'INSIEME

2.1.a - Assetto strutturale e tettonico

Nell'ambito del territorio comunale di Angolo Terme il substrato roccioso è rappresentato in gran parte dalle rocce prevalentemente carbonatiche del Triassico inferiore e medio e solo nel settore sud-orientale sono presenti rocce clastiche e vulcaniche del Permiano.

Le formazioni che costituiscono il substrato roccioso sono in media disposte in modo relativamente uniforme, con i piani di stratificazione immergenti verso N e N-W e con un'inclinazione in genere dell'ordine di 30°.

L'elemento strutturale principale è rappresentato da un piano di faglia che decorre con andamento all'incirca est-ovest parallelamente al corso inferiore del torrente Dezzo, sempre sepolto dai depositi superficiali che ricoprono i terrazzi morfologici di Terzano ed il tratto di fondovalle posto all'altezza di Angolo: si tratta di una faglia subverticale che rialza la serie sedimentaria nel settore a sud di essa, portando in affioramento le unità del Permiano. Si tratta probabilmente di un lineamento a componente compressiva, con sforzi diretti in senso nord-sud, di cui non si ritrova un chiaro proseguimento nel settore occidentale nell'area in esame: si può comunque ipotizzare che essa prosegua, con un minore rigetto apparente, attraverso la faglia della valle del Bassile fino alla zona della Croce o del Colle di Vareno.

Gli altri elementi strutturali riconosciuti nel corso del rilevamento sembrano collegati al lineamento principale e sono rappresentati sia da piani di faglia prevalentemente subverticali, sia da fenomeni plicativi a scala metrica e decametrica, sia da evidenze di scorrimento lungo strato.

Le faglie sono diffuse soprattutto nel settore meridionale, in corrispondenza della zona di affioramento del Verrucano Lombardo e del Servino, formazioni caratterizzate in genere da un comportamento di tipo rigido. Queste faglie sono disposte circa parallelamente o perpendicolarmente al lineamento principale e determinano innalzamenti e abbassamenti successivi nell'ambito della serie stratigrafica.

In corrispondenza dei litotipi carbonatici sono invece nettamente prevalenti le deformazioni plicative, soprattutto entro le formazioni caratterizzate da un comportamento prevalentemente plastico: le pieghe sono in genere a piccola scala, di tipo simmetrico o a gradino, con piano assiale verticale e diretto in senso est-ovest ad indicare un certo raccorciamento dovuto a sforzi di compressione in senso nord-sud.

Maggiori deformazioni si ritrovano nelle unità a comportamento fortemente plastico come la Carniola di Bovegno ed il S. Giovanni Bianco che risultano spesso fortemente tettonizzate, avendo assorbito gran parte degli sforzi. Evidenze di scorrimenti lungo strato, dei quali non si riesce con certezza ad individuare la direzione, sono diffusi ovunque e localmente si ritrovano strati budinati od orizzonti brecciati.

2.1.b - Aspetti stratigrafici relativi ai depositi superficiali

Il rilevamento delle unità relative ai depositi superficiali nella zona della conca di Angolo ha messo in evidenza una situazione stratigrafica relativamente complessa, creatasi in seguito alla comparsa e soprattutto al successivo ritiro delle lingue glaciali provenienti dalla Val Camonica e penetrate nel tratto inferiore della valle del torrente Dezzo. La presenza del ghiacciaio è testimoniata dai lembi di till sopraglaciali diffusi sui versanti e dal till subglaciale che compare al fondo dell'alveo del Dezzo di fronte all'ingresso delle Terme.

Lo sbarramento della valle provocato dalla lingua glaciale ha creato al suo esterno, verso la conca di Angolo, condizioni di sedimentazione particolari. La ricostruzione completa e definitiva della storia sedimentaria dell'area, tuttavia, richiede un'analisi più dettagliata rispetto a quella effettuata in questa sede, in quanto l'osservazione delle sezioni di terreno in corrispondenza delle scarpate di erosione del Dezzo o delle scarpate di degradazione dei versanti non permette una visione globale della situazione stratigrafica, ma solo un mosaico incompleto. Allo stato attuale delle conoscenze, quindi, si possono fare solo delle ipotesi.

Gli elementi stratigrafici raccolti consentono innanzitutto di affermare che il ghiacciaio della Val Camonica è penetrato profondamente entro la Valle del Dezzo, probabilmente fondendosi con le lingue glaciali provenienti dalla Val di Scalve; per esempio, nella zona di Padone sono presenti terrazzi di kame posti alla quota di 880 m e depositi fluvioglaciali leggermente addensati alla quota di 800 m: il ghiacciaio si è successivamente ritirato lasciando indisturbati questi depositi.

Gli elementi stratigrafici più significativi per la zona di Angolo sono i seguenti:

- La serie stratigrafica è superiormente costituita dai depositi dei conoidi alluvionali dei corsi d'acqua laterali che si sovrappongono ai ripiani dei depositi fluvioglaciali.
- I depositi fluvioglaciali che costituiscono i ripiani dei terrazzi e la parte superiore delle scarpate sono relativamente addensati, ma non deformati. L'alimentazione di questi sedimenti poteva venire dalle acque di fusione glaciali e quindi dalla Val Camonica verso Angolo oppure dalle acque del torrente Dezzo e quindi con verso contrario, cioè dalla valle del Dezzo alla Val Camonica. I depositi contengono frequentemente clasti di tonalite e arenarie sicuramente trasportate dal ghiacciaio; le strutture sedimentarie tuttavia non indicano chiaramente una direzione di alimentazione prevalente e questo materiale potrebbe derivare sia da apporti diretti dal ghiacciaio sia dallo smantellamento dei depositi glaciali depositi in precedenza sui versanti della

zona di Angolo e più a monte lungo la valle. Nella zona di Terzano la direzione delle strutture sedimentarie sembra indicare apparentemente un apporto proveniente da nord-est: in tal caso l'alimentazione sarebbe relativa alle acque di fusione del ghiacciaio in posizione esterna ad esso, lungo il versante destro della Val Camonica, alla quale si sommerebbero eventuali apporti dai versanti. All'interno dei depositi fluvioglaciali si trovano intercalati dei sedimenti lacustri ad indicare una complessità di rapporti con continue situazioni di acque ferme sostenute dallo sbarramento costituito dalla fronte glaciale. La quota media dei terrazzi morfologici presenti nell'area di Angolo, Mazzunno e Terzano è all'incirca la stessa, compresa tra 400 e 430 m, e questo indica un'unità complessiva della sedimentazione lungo il tratto inferiore della valle del Dezzo; la quota media dei terrazzi nel tratto posto a monte, presenti soprattutto in corrispondenza della sponda destra nel tratto tra Dazze e Fornaci, aumenta inoltre in modo relativamente regolare da 430 m (Angolo, Mazzunno) a 450 m (Dazze) fino a 500 m (Fornaci) e questo fa propendere per un'alimentazione, almeno nella parte finale, proveniente dal Dezzo.

Nella zona di Angolo al di sotto dei depositi fluvioglaciali compaiono dei livelli di depositi lacustri relativamente continui e compresi in un intervallo di quote che va da 350 a 380 m. Questi depositi si sono formati per decantazione al fondo di un lago creatosi nella zona di Angolo, per sbarramento da parte della lingua glaciale penetrata nella valle del Dezzo, in posizione proglaciale (esterna ed antistante il fronte della lingua). Data la posizione, l'alimentazione del lago poteva venire dalle acque di fusione del ghiaccio o dalle acque provenienti dai versanti circostanti o dalle acque dello stesso torrente Dezzo. I limi argillosi che costituiscono i depositi glaciolacustri sono caratterizzati dalla presenza di intercalazioni sabbiose contenenti lamelle di mica e di piccoli ciottoli di calcari neri: l'assenza di calcari chiari che affiorano estesamente nel tratto a monte della valle del Dezzo e nei versanti della conca di Angolo fa propendere per l'alimentazione da parte delle acque di fusione del ghiaccio che, nel tratto a monte lungo il versante destro della Val Camonica, ha raschiato soprattutto i calcari scuri del Trias inferiore.

Alla quota di 380 m i depositi lacustri si ritrovano anche nella zona compresa tra Terzano e Sciano: anche in quest'area risultano relativamente consolidati, ma presentano un colore diverso, giallo-ocra: non è stato tuttavia possibile appurare se ciò è dovuto ad una diversa composizione oppure è legato solamente ad una maggiore alterazione superficiale subita localmente.

I depositi lacustri presenti in sponda destra nella zona di Fornaci e sulla sponda sinistra della forra del Dezzo all'altezza della centrale idroelettrica Italcementi, presentano invece un colore da grigio nocciola a grigio-verde e un contenuto in argilla relativamente maggiore; si presentano inoltre poco consolidati ed occupano una posizione altimetrica, compresa tra 480 e 510 m, che rende difficile la loro collocazione nell'ambito della storia sedimentaria dell'area: anch'essi indicano comunque condizioni di sedimentazione in acque ferme legate ad uno sbarramento.

- Sottostanti ai depositi lacustri, alla base della sponda destra del Dezzo nel tratto di fronte all'ingresso delle Terme, si trovano depositi glaciali di fondo che risultano ben consolidati e che presentano una composizione analoga a quelli lacustri .

Sulla base degli elementi appena descritti si può pertanto ricostruire la seguente successione stratigrafica, per la quale restano aperte alcune ipotesi da verificare:

- 1) Il ghiacciaio della Val Camonica è penetrato all'interno della Valle del Dezzo creando una conca di sovraescavazione nella zona di Angolo, la cui quota di base sembra inferiore a quella della soglia rocciosa che la limita nel tratto Terzano-Gorzone, successivamente incisa linearmente dal Dezzo, a meno che non esista un solco profondo al di sotto dei terrazzi di Terzano. Il glaciale di fondo posto all'altezza dell'ingresso delle Terme indica la sedimentazione glaciale al fondo della conca.
- 2) La lingua glaciale penetrata nella valle del Dezzo ne ha quindi provocato lo sbarramento creando le condizioni per la formazione di un lago in posizione proglaciale, antistante la fronte, al cui fondo si sono sedimentati i depositi lacustri, probabilmente alimentati sia dalle acque di fusione del ghiacciaio sia da apporti dai versanti o dalla valle del Dezzo.
- 3) Rimangono aperte le ipotesi relative ai lacustri presenti tra Terzano e Sciano che, data la loro posizione, possono essere relativamente antichi e deposti in posizione proglaciale prima dell'ingresso della lingua di ghiaccio nella valle del Dezzo, della stessa età del lacustre di Angolo oppure più recenti di quelli di Angolo e deposti in posizione proglaciale quando la lingua di ghiaccio occupava solo l'ultimo tratto della valle del Dezzo, da Terzano a Gorzone.
- 4) I sedimenti fluvioglaciali sono stati deposti successivamente ai lacustri di Angolo e Terzano-Sciano in quanto li ricoprono; nella disposizione dei terrazzi sembrano indicare apporti dal Dezzo il cui ruolo è diventato prevalente in un momento avanzato della fase di ritiro del ghiacciaio; non si può però escludere, che almeno all'inizio, la loro alimentazione fosse legata alla fusione del ghiacciaio. In questa fase oltre all'apporto del Dezzo è probabile anche un certo apporto da parte dei corsi d'acqua laterali, con conoidi interdigeriti ai lacustri. La quota dei terrazzi fluvioglaciali è comunque ben superiore a quella del tratto antistante del fondo della Val Camonica e probabilmente lo stesso fluvioglaciale era sostenuto all'esterno dalla fronte o dalla morena laterale del ghiacciaio che ne occupava il solco.
- 5) Rispetto alla deposizione del Dezzo che inizia ad incidere i suoi stessi sedimenti una volta ritiratosi definitivamente il ghiacciaio dalla parte inferiore della sua valle e da questo tratto della Val Camonica, prevale la deposizione da parte dei corsi d'acqua laterali, che si sovrappongono ed acquistano evidenza sul ripiano fluvioglaciale.
- 6) L'attività erosiva del Dezzo prevale nettamente sulla sua azione deposizionale e su quella dei corsi laterali ed incide profondamente i depositi fluvioglaciali, quelli lacustri ed i conoidi. Anche se in modo meno accentuato l'attività erosiva dell'ultima fase descritta continua attualmente.

2.2 - SUBSTRATO ROCCIOSO

La descrizione delle caratteristiche litologiche delle unità del substrato roccioso è fatta seguendo l'ordine di età, dalle formazioni clastiche e vulcaniche più antiche, affioranti solo nel settore sud-orientale, attribuibili al Permiano, a quelle più recenti, prevalentemente carbonatiche, del Triassico inferiore e medio.

Vulcaniti di Auccia

Questa unità affiora per un breve tratto al limite del territorio comunale nella parte intermedia del versante compreso tra Anfurro e Bessimo di Darfo ed è costituita da rioliti ignimbriche rappresentate da porfidi, di colore rosso-viola, disposti in banconi o a stratificazione indistinta. (Permiano medio-inferiore).

Verrucano Lombardo

La formazione del Verrucano Lombardo affiora estesamente nel settore sud-orientale del territorio comunale: al fondo della forra del torrente Dezzo, in corrispondenza dei rilievi circostanti il Lago Moro e nel tratto di versante posto a valle di Anfurro. Questa unità è rappresentata da arenarie e conglomerati di colore rosso, ben cementati, a cemento siliceo ed a matrice sericitica, con clasti di origine vulcanica e subordinatamente metamorfica. Questi litotipi sono disposti in grossi banchi, a volte poco distinti, generalmente di forma lenticolare, all'interno dei quali si osservano spesso delle gradazioni granulometriche, con ripetuti passaggi da conglomerati ad arenarie; sempre all'interno dei banchi si possono osservare strutture da corrente come superfici erosionali che delimitano tasche di erosione, spesso riempite da materiale più grossolano, e laminazioni incrociate a piccola e grande scala. A questi orizzonti si intercalano localmente dei banchi lenticolari di siltiti micacee rosse, fittamente laminate. (Permiano superiore).

Servino

La formazione del Servino affiora nella parte superiore delle sponde del torrente Dezzo lungo il tratto posto all'altezza di Terzano e costituisce i terrazzi morfologici su cui si trovano le frazioni di Anfurro superiore ed inferiore. L'unità è costituita soprattutto da marne, marne calcaree, e siltiti di colore rosso o grigio, disposte in strati sottili o fittamente laminate, a volte in banchi rinsaldati; questi litotipi sono alternati a calcari marnosi grigi o grigio-giallastri, in strati di spessore medio o sottile. Nella zona di Anfurro prevalgono le siltiti mentre lungo la forra del Dezzo prevalgono i litotipi marnosi. (Scitico inferiore).

Carniola di Bovegno

La Carniola di Bovegno affiora alla base delle pareti rocciose soprastanti i terrazzi morfologici di Anfurro mentre a monte dell'abitato di Angolo è coperta da una potente coltre di depositi superficiali. Nella zone di affioramento l'unità è rappresentata in prevalenza da dolomie, siltiti, marne e calcari dolomitici localmente gessosi: tutti i litotipi appaiono in genere tettonizzati e trasformati in breccie cariate e vacuolari, facilmente disgregabili. (Scitico superiore).

Calcere di Angolo

Questa formazione affiora estesamente nella zona di Angolo e costituisce tutta la parte inferiore e media dei versanti destro e sinistro della valle del Dezzo fino all'inizio della forra della Via Mala. In queste aree è possibile osservare la formazione in affioramento per tutta la sua sezione stratigrafica e pertanto nella zona a monte di Angolo è stata definita la sezione-tipo, dalla cui ubicazione trae nome la formazione stessa. La potenza di questa unità si aggira intorno a 700 m. Nella parte basale è costituita da calcari, con subordinati calcari dolomitici, di

colore grigio o grigio scuro, a stratificazione indistinta o in grossi banchi, localmente alternati a livelli a stratificazione sottile; nella parte media e superiore è invece rappresentata da calcari e calcari marnosi di colore grigio scuro o nero, a stratificazione molto sottile, con sottili interstrati di marne e argilliti nere, cui si intercalano locali banchi calcarei. Spesso le superfici di stratificazione presentano un aspetto molto ondulato. La parte inferiore della formazione presenta un rilievo morfologico notevole con alte pareti subverticali. (Anisico medio-inferiore).

Calcare di Prezzo

Il Calcare di Prezzo costituisce una fascia continua nella parte intermedia dei versanti nella zona di Angolo ed è rappresentato da un'alternanza di strati calcareo-marnosi neri, di spessore medio, e di livelli di pari spessore di marne e marne carboniose nere, sottilmente laminate. Nella parte inferiore della formazione le intercalazioni marnose possono diventare localmente prevalenti assumendo spessori di circa un metro. Questi litotipi sono spesso ricchi di fossili, rappresentati soprattutto da cefalopodi e lamellibranchi. In ragione della litologia, relativamente soggetta alla disgregazione, la fascia di versante occupata dalla formazione costituisce spesso un debole ripiano morfologico e la roccia è molte volte coperta da coltri di depositi superficiali. (Anisico superiore).

Calcare di Buchenstein

Anche questa unità affiora in corrispondenza della parte intermedia dei versanti nella zona di Angolo ed è costituita da calcari e calcari debolmente marnosi di colore grigio scuro o nero, in strati di spessore medio separati da sottili intercalazioni di marne argillose nere. All'interno degli strati calcarei compaiono noduli o sottili liste di selce scura. A volte la presenza dei noduli conferisce alle superfici di stratificazione un caratteristico aspetto budinato. Nella parte superiore dell'unità compaiono strati e banchi di arenarie e siltiti di colore verde, a clasti vulcanici, mentre nel fondovalle del Dezzo, allo sbocco della forra della Via Mala, la parte superiore della formazione è sostituita da una porfirite e da tufi e siltiti vulcaniche: in questa sede tali litotipi sono stati cartografati come un'unità a parte. (Ladinico inferiore).

Formazione di Wengen

Nell'area in esame questa formazione è scarsamente rappresentata: nel tratto di versante posto a monte di Angolo è infatti sostituita quasi completamente dalle porfirite mentre nel tratto di versante posto a monte di Mazzunno e Terzano è sostituita dal Calcare di Livinallongo. Solo nel tratto di versante a monte del dosso della Sessa compaiono degli strati di marne calcaree, calcareniti e siltiti di colore nero o grigio-verde posti alla base del Calcare di Esino. (Ladinico superiore).

Porfirite e diabasi

Questa unità comprende una fascia di rocce presente nell'area in esame nel tratto compreso tra il versante a monte di Angolo fino alla confluenza della Valle di S. Giovanni, disposte alla sommità del Calcare di Livinallongo e direttamente a contatto con il soprastante Calcare di Esino, in sostituzione della Formazione di Wengen. In corrispondenza dello sbocco della forra della via Mala si trova un esteso ammasso di porfirite, con quarzo, plagioclasio e anfibolo, di colore verde: questo ammasso tende rapidamente a chiudersi lateralmente e nelle

rimanenti zone l'unità è rappresentata da tufi, siltiti e locali breccie vulcaniche anch'esse di colore verde. (Ladinico)

Calcare di Esino

La formazione del Calcare di Esino affiora con continuità lungo i versanti del tratto di valle del torrente Dezzo compreso nel territorio comunale: nella parte medio-alta dei versanti nel tratto posto all'altezza di Angolo e alla base e nel fondovalle lungo la forra della Via Mala. L'unità è costituita da calcari e calcari dolomitici massicci di colore grigio chiaro, talora rosato; abbondantemente fossiliferi con coralli, lamellibranchi e gasteropodi, e spesso con al loro interno pisoliti vadose, cavità riempite da cemento calcitico, oncoliti ed ooliti. Questa formazione presenta un notevole risalto morfologico con alte pareti verticali e strette forre in corrispondenza delle valli e spesso risulta intensamente carsificata. (Ladinico).

Calcare Metallifero Bergamasco

La formazione del Calcare Metallifero Bergamasco costituisce una sottile fascia alla sommità degli affioramenti dell'Esino del quale continua in parte la rilievo morfologico nonostante il ridotto spessore. In media la potenza dell'unità è infatti di circa 30 m ed è costituita da calcari e calcari dolomitici grigi, in strati di spessore medio, separati da sottili intercalazioni di marne argillose nerastre; all'interno degli orizzonti calcarei si possono osservare piccole plaghe di calcite bianca o di siderite. (Carnico inferiore).

Formazione di Breno (Lingua di Campolungo)

Nell'area in esame questa unità, che nella sua parte inferiore si trova in eteropia con le Arenarie di Val Sabbia e con il Gorno, è rappresentata solamente dal *Membro della Lingua di Campolungo* che affiora con continuità nella parte alta del versante sinistro della valle del Dezzo: lungo il versante opposto la si ritrova solo dal Passo della Presolana fino al M. Lantana. La lingua di Campolungo è formata da calcari dolomitici e dolomie microcristalline in banchi o strati spessi e di colore grigio-bianco, a volte con sottili interstrati di marne e argilliti grigie e, nonostante lo spessore sia in media di 50-80 m, l'unità presenta un forte rilievo morfologico con pareti verticali che segnano un limite netto con le rocce soprastanti. (Carnico medio-inferiore).

Formazione di Gorno

La Formazione di Gorno si trova in eteropia sia con le Arenarie di Val Sabbia che con la Formazione di Breno ed affiora estesamente nella parte medio-superiore dei versanti della valle del Dezzo. L'unità ha uno spessore di circa 300 m ed è costituita da calcari e calcari marnosi di colore grigio scuro o nero, in strati medi o sottili, intercalati ad orizzonti, di analogo spessore, di marne nere sottilmente laminate o compatte, spesso fossilifere. Nella parte inferiore dell'unità compaiono a volte delle intercalazioni di arenarie o di calcareniti grigio-verdi o nere in strati di spessore medio: queste intercalazioni si fanno più frequenti nella zona del Colle di Vareno dove il Gorno si indenta con le Arenarie di Val Sabbia e ne viene sostituito al contatto con l'Esino. (Carnico medio-inferiore).

Arenarie di Val Sabbia

I litotipi appartenenti a questa unità affiorano solo alla sommità del versante ed in corrispondenza della linea di cresta del M. Pora e del Colle Vareno mentre più a nord si assottiglia e si indenta nel Gorno fino ad essere rappresentata da lingue molto sottili e poi scomparire. E' costituita da arenarie di colore verde o rosso, ben cementate, a matrice sericitica e clasti di origine vulcanica, spesso contenenti noduli di clorite, disposte in banchi di spessore variabile. Alle arenarie si intercalano localmente dei banchi di siltiti o di marne arenacee di colore verde; talora compaiono degli strati o dei banchi calcarenitici di colore grigio-verde, a volte ricchi di fossili che rappresentano le interdigitazioni del Gorno. (Carnico medio-inferiore).

Formazione di San Giovanni Bianco

Questa formazione affiora nella parte superiore dei versanti nei tratti compresi tra il M. Altissimo e Prave e tra il passo della Presolana ed il Monte Lantana. E' costituita da marne e dolomie marnose di colore grigio, in strati di spessore medio o sottile, e da siltiti ed argilliti sottilmente laminate di colore verde, verde-azzurro o rosso. Localmente sono presenti anche strati medi di calcari marnosi grigi o, verso l'alto, argilliti nere. Questi litotipi risultano spesso tettonizzati, fortemente fratturati o brecciati e a volte trasformati in carniole e brecce tettoniche giallastre in cui si notano cristalli di calcite e dolomite di neoformazione. In ragione della facile degradabilità l'unità presenta uno scarso rilievo morfologico ed è spesso coperta da coltri di depositi superficiali. (Carnico superiore).

Dolomia Principale

La formazione della Dolomia Principale costituisce la sommità dei versanti nei tratti compresi tra il M. Altissimo e Prave e tra il passo della Presolana ed il M. Lantana. Nell'area in esame la formazione è rappresentata soprattutto dalla sua parte basale costituita da brecce, da grossolane a minute, a clasti di composizione calcareo-dolomitica legati da cemento carbonatico a volte ricco di ossidi di ferro; nella sua parte superiore è invece costituita da dolomie e calcari dolomitici, di colore variabile da grigio chiaro a nero, disposti in grossi banchi od a stratificazione indistinta. In corrispondenza della zona di contatto con il S. Giovanni Bianco, nella zona del M. Lantana e del M. Scanapà le rocce appaiono fortemente fratturate ed alterate. Questa unità risulta spesso interessata da fenomeni carsici. (Norico).

2.3 - DEPOSITI SUPERFICIALI

Nell'ambito del territorio comunale il substrato roccioso è spesso coperto da coltri e lembi di depositi superficiali che raggiungono talora una potenza considerevole. La copertura di depositi superficiali è maggiormente diffusa nel tratto di valle del torrente Dezzo posto all'altezza dell'abitato di Angolo Terme, sia in corrispondenza del fondovalle sia nella parte inferiore dei versanti. Le unità che costituiscono l'insieme dei depositi superficiali presenti nell'area sono state distinte tra loro in ragione delle caratteristiche genetiche dalle quali dipendono sostanzialmente la distribuzione, la geometria, la composizione granulometrica e lo stato di addensamento. Nella

descrizione delle singole unità si è tenuto conto, per quanto possibile, di un criterio temporale a partire dall'unità più antica.

Deposito glaciale

Questa unità è rappresentata dai materiali legati all'attività deposizionale dei ghiacciai che hanno occupato in passato il solco vallivo del fiume Oglio e le cui lingue sono penetrate per un tratto lungo il corso inferiore della valle del torrente Dezzo. Sono diffusi soprattutto sui versanti della conca di Angolo, sui terrazzi morfologici di Anfurro, nelle zone circostanti il lago Moro, ed alla sommità del versante sinistro nella zona del M. Altissimo e nella zona di Prave. Si tratta di un'unità definita esclusivamente sulla base di un criterio litologico che comprende tutti i till, subglaciali, proglaciali e sopraglaciali, presenti nell'area rilevata, indipendentemente dalla loro appartenenza ad un preciso episodio glaciale.

Questi depositi sono caratterizzati da una forte eterogeneità granulometrica e litologica e sono costituiti in genere da diamicton, ovvero da sedimenti formati da blocchi, ciottoli e ghiaia in matrice di sabbia, limo e argilla. Possono presentare supporto clastico o supporto di matrice ed i clasti sono in genere poco arrotondati. In relazione alla modalità della loro messa in posto, sotto la massa glaciale o lungo il suo bordo, possono essere caratterizzati o meno da un certo grado di consolidazione. Generalmente si tratta di till sopraglaciali poco consolidati ma, soprattutto nel fondovalle, si ritrovano anche till subglaciali fortemente consolidati. Nelle parti intermedia dei versanti, come a Paltressino, si trovano anche lembi cementati, carattere assunto successivamente alla loro deposizione per effetto della circolazione di acque ricche in carbonato provenienti dal versante.

L'unità comprende anche i depositi di contatto glaciale che, essendosi formati nella zona compresa tra i cordoni morenici laterali ed il versante, presentano una stratigrafia piuttosto complessa e possono essere costituiti da intercalazioni irregolari di till, depositi fluvioglaciali, glaciolacustri o di versante; quando è stato possibile questi ultimi depositi sono stati cartografati separatamente.

In alcune aree i depositi glaciali sono stati asportati quasi completamente dall'erosione e la loro presenza è testimoniata solo da alcuni blocchi isolati costituiti da litotipi appartenenti a formazioni non affioranti nell'area. Blocchi erratici isolati senza altre testimonianze sono stati ritrovati al Passo della Presolana.

Il comportamento geotecnico e la permeabilità di questi materiali variano fortemente in funzione della granulometria, della tessitura e dello stato di addensamento. Da un punto di vista in generale prevalgono i till, classificabili granulometricamente come GM (classificazione USCS) e con caratteristiche geotecniche generalmente da mediocri a discrete e permeabilità da medio-bassa a bassa. Il comportamento geotecnico dei till a matrice fine, anche quando consolidati, è però relativamente sensibile al contenuto d'acqua.

Depositi glaciolacustri

Depositi glaciolacustri sono presenti con relativa continuità nel fondovalle del Dezzo nel tratto compreso tra il ponte di Angolo fino alla briglia posta a monte della confluenza della Valle del Bassile e affiorano sia alla base delle scarpate d'erosione che al fondo del torrente, in una fascia altimetrica compresa tra 350 e 380 m. Altri depositi lacustri sono presenti nella parte alta della scarpata di erosione del Dezzo all'altezza della confluenza

della valle di Fornaci, ad una quota compresa tra 500 e 530 m, ed alcuni lembi si ritrovano sul fianco destro della forra del Dezzo, all'altezza della centrale idroelettrica Italcementi .

Si tratta di depositi fini limoso-argillosi, con laminazioni orizzontali, a volte con passate di sabbia e piccoli ciottoli. I depositi presenti al fondo del Dezzo sono di colore grigio, con frequenti passate di sabbia e ciottoli e risultano ben consolidati mentre quelli posti allo sbocco della valle di Fornaci e in prossimità della centrale Italcementi sono di colore grigio-verde, massivi o ben laminati e da mediamente a debolmente consolidati. L'origine di questi depositi è legata alla sedimentazione in un bacino lacustre che si è creato al fondo della conca di Angolo a causa dello sbarramento provocato dalle lingue glaciali provenienti dalla valle dell'Oglio e alimentato con molta probabilità dalle acque di fusione del ghiaccio anche se non si può escludere la possibilità di alimentazione da parte delle acque provenienti dalla zona a monte o portate dallo stesso Dezzo. La differenza di quota tra i due depositi indica una dinamica relativamente complessa, legata ad un unico episodio di sbarramento nell'ambito di una stessa fase, con variazioni di posizione e sedimentazione in risposta alle varie oscillazioni del fronte glaciale, oppure a più episodi di sbarramento legati anche a fasi differenti.

Depositi glaciolacustri massivi e consolidati, sottostanti gli orizzonti fluvioglaciali che costituiscono il terrazzo morfologico, compaiono anche lungo la strada che collega Terzano con Gorzone, alla quota di 380 m.

Nel complesso i depositi glaciolacustri presenti nell'area in esame possono essere classificati granulometricamente come ML o MH e sono caratterizzati da una permeabilità bassa o molto bassa e da parametri geotecnici scadenti, con bassi valori della resistenza al taglio, che inoltre risente fortemente del contenuto d'acqua. La compressibilità è relativamente bassa per i depositi consolidati presenti nella zona di Angolo, mentre è maggiore per i depositi di Fornaci. In passato i depositi di Fornaci sono stati coltivati per ricavarne argilla per laterizi.

Depositi fluvioglaciali

I depositi fluvioglaciali rappresentano i sedimenti connessi al rimaneggiamento dei materiali di origine glaciale dovuti all'azione di erosione, trasporto e deposizione operata dalle acque di fusione dei ghiacci. Questi depositi sono presenti diffusamente lungo il fondovalle del torrente Dezzo nel tratto a valle della forra della via Mala e costituiscono i terrazzi morfologici incisi dall'erosione del torrente Dezzo nella zona di Angolo, Mazzunno e di Terzano. Affiorano infatti nelle scarpate di erosione anche al di sotto dei depositi di conoide e ricoprono i sottostanti depositi fluvioglaciali. Questi depositi hanno pertanto colmato il fondovalle del Dezzo quando il suo tratto inferiore era ancora sbarrato dalla lingue glaciali della valle dell'Oglio e la loro deposizione è legata ad acque correnti derivanti dalla fusione del ghiaccio oppure ad apporti da parte del Dezzo: la disposizione delle strutture sedimentarie sembra indicare un apporto da parte del Dezzo per i depositi presenti nella zona di Angolo e Mazzunno mentre sembra indicare apporti dalla Val Camonica e lateralmente alle lingue glaciali nell'area di Terzano.

I caratteri granulometrici e tessiturali dei depositi fluvioglaciali sono del tutto simili a quelli dei sedimenti alluvionali e sono rappresentati in genere da orizzonti di ghiaia, ghiaia e sabbia o sabbia, all'interno dei quali si possono osservare le tipiche strutture sedimentarie da corrente come gradazioni, laminazioni parallele o incrociate, contatti

erosionali e ciottoli embricati. Intercalati a questi orizzonti si osservano localmente anche dei livelli limoso-argillosi di origine lacustre che testimoniano la complessità dei rapporti sedimentari nell'area in esame. Questi depositi appaiono in genere da leggermente a fortemente addensati e, nella zona di Terzano, compaiono spesso degli orizzonti cementati (carattere comunque successivo alla loro deposizione e legato alle acque carbonatiche provenienti dal versante). Un lembo di depositi fluvioglaciali è stato ritrovato alla sommità della parete che limita la forra del Dezzo, nel tratto a valle di Padone.

In funzione della forte variabilità granulometrica i depositi fluvioglaciali presenti nell'area in esame sono assegnare a varie classi ASTM, con una prevalenza per i termini grossolani, principalmente GP e subordinatamente GW ed anche GM, e minore presenza dei termini sabbiosi, SP ed SW. Nel complesso questi depositi sono contraddistinti da una permeabilità alta ad elevata e da parametri geotecnici da buoni a discreti in ragione soprattutto della composizione granulometrica.

Deposito detritico di versante

I depositi detritici di versante sono dovuti principalmente all'azione della gravità e si originano dall'accumulo, alla base delle pareti rocciose, dei materiali derivanti dal distacco di volumi di roccia causato dalla degradazione operata dai vari agenti esogeni. Questi accumuli sono rappresentati da sedimenti sciolti, a supporto clastico o, meno frequentemente, a supporto di matrice, costituiti da clasti a spigoli vivi con una percentuale variabile di matrice. Le dimensioni dei clasti sono molto variabili, dai blocchi alla ghiaia, e nell'ambito di uno stesso accumulo, in riferimento all'area di alimentazione, aumentano dalla zona prossimale alla zona distale. Sono organizzati in coni o falde a seconda che la zona di alimentazione sia concentrata o estesa lungo un fronte più o meno ampio. I depositi detritici di versante sono diffusi in tutto il territorio comunale e gli accumuli più consistenti si registrano nella parte inferiore della valle del Dezzo, al raccordo tra le pareti rocciose ed i terrazzi morfologici di Anfurro, Angolo, Mazzunno e Terzano. Le dimensioni maggiori dei clasti si rilevano per le falde poste alla base delle pareti rocciose costituite dai calcari massici dell'Esino mentre dimensioni relativamente minori si ritrovano nelle falde poste alla base delle pareti costituite dalla litozona superiore del Calcere di Angolo.

Localmente compaiono degli orizzonti detritici cementati, con grado di cementazione variabile da basso ad elevato: la cementazione è dovuta alla deposizione per evaporazione da parte di acque ricche in carbonato di calcio in ragione della natura litologica prevalente delle rocce e di conseguenza dei clasti che costituiscono gli stessi depositi detritici. In genere gli orizzonti cementati non si trovano in superficie ma si trovano in profondità ed affiorano in corrispondenza di sezioni o scarpate di erosione: è pertanto probabile che in molti casi si tratti di fenomeni relativamente antichi e legati a condizioni climatiche diverse dalle attuali.

Nella maggior parte dei casi le falde ed i coni detritici presenti nell'area sono ormai inattivi o alimentati solo in modo episodico, caratterizzati dalla presenza di un orizzonte superficiale pedogenizzato e colonizzati dalla vegetazione.

Meno frequentemente compaiono depositi parzialmente colonizzati o non ancora colonizzati dalla vegetazione: questi depositi si ritrovano soprattutto nelle zone altimetricamente più elevate del territorio comunale, dove le stesse condizioni climatiche favoriscono maggiormente i processi di degradazione del substrato roccioso.

In riferimento alla classificazione USCS, data la presenza della frazione fine, questi depositi sono in genere da assegnare alla classe GM e meno frequentemente alla classe GP. Questi sedimenti sono contraddistinti in genere da una permeabilità da media ad alta e da discrete caratteristiche geotecniche.

Depositi alluvionali recenti ed attuali

Le alluvioni attuali e recenti corrispondono rispettivamente ai depositi che formano l'alveo e la piana alluvionale dei corsi d'acqua. Si tratta pertanto di sedimenti clastici, legati essenzialmente all'azione trattiva della corrente, deposti lungo l'alveo al calare delle piene o all'esterno di esso durante le esondazioni. I clasti sono in genere ben arrotondati e la loro dimensione media dipende dalla velocità della corrente che li ha deposti. Questi sedimenti sono presenti in corrispondenza del fondovalle del torrente Dezzo e dei suoi principali affluenti. In ragione delle caratteristiche idrauliche dei corsi d'acqua si tratta in genere di depositi grossolani costituiti da orizzonti di massi, ciottoli e ghiaia e solo nelle barre deposte dal torrente Dezzo nelle fasi di magra o di morbida si trovano orizzonti di ghiaia e sabbia. Sono pertanto da assegnare principalmente alle classi GP e GW e subordinatamente, alle classi SP e SW.

In media si tratta di sedimenti contraddistinti da una permeabilità elevata e da buone caratteristiche geotecniche.

Conoidi alluvionali

I conoidi alluvionali sono depositi dalla tipica forma a ventaglio che i corsi d'acqua formano quando incontrano, lungo il loro percorso, una sensibile diminuzione del gradiente topografico e subiscono una diminuzione della velocità e quindi della capacità di trasporto della corrente. Nell'area in esame conoidi alluvionali si trovano alla confluenza con il torrente Dezzo dei maggiori corsi d'acqua laterali: alla confluenza delle valli di Fornaci, S. Giovanni, Bassile, Sè e Gromo. Le forme più ampie ed evidenti si raccordano alla quota dei ripiani fluvioglaciali della zona di Angolo e risultano profondamente incise non solo dall'erosione del torrente Dezzo ma anche dagli stessi corsi che li hanno generati: in alcuni casi si osservano più serie di terrazzi di erosione ed i settori ancora soggetti ad alimentazione sono rappresentati in genere da forme relativamente esigue incassate nella parte distale di quelle inattive.

Si tratta di depositi con clasti generalmente arrotondati, le cui dimensioni diminuiscono dall'apice del conoide verso la zona distale, in relazione alla progressiva diminuzione della velocità della corrente e per il prevalente carattere torrentizio dei corsi d'acqua presenti nell'area in esame e per le condizioni geomorfologiche dei relativi bacini, questi depositi sono spesso legati ad episodi di trasporto in massa, sotto forma di colata, oltre che all'azione trattiva della corrente. Gli orizzonti legati ai fenomeni di trasporto in massa sono generalmente costituiti da massi, ciottoli e ghiaia in matrice di sabbia e limo; la percentuale di matrice è variabile e, soprattutto nelle zone distali, può diventare prevalente rispetto ai clasti. Gli orizzonti dovuti ad un'azione trattiva della corrente sono invece a supporto clastico, costituiti in genere da massi, ciottoli e ghiaia. Nelle scarpate di erosione si osservano spesso orizzonti caratterizzati da un certo grado di cementazione.

Principalmente, secondo la classificazione USCS, sono quindi da assegnare alle classi GM e subordinatamente alle classi GP o GW e SP, SW. Nel complesso questi depositi sono caratterizzati da una permeabilità da media ad alta in funzione degli aspetti granulometrici e tessiturali; il comportamento geotecnico è in genere discreto.

Deposito eluvio-colluviali

I depositi eluviali sono costituiti dai materiali derivanti dall'alterazione in posto del substrato roccioso operata dai vari agenti esogeni. I depositi colluviali derivano invece dal trasporto e dall'accumulo lungo i versanti, ad opera della gravità o per il dilavamento delle acque meteoriche, dei materiali eluviali. I depositi eluviali si ritrovano pertanto nelle zone a minore pendenza mentre quelli colluviali si ritrovano concentrati alla base dei tratti a maggiore acclività. Le caratteristiche granulometriche e tessiturali di questi depositi sono strettamente legate alla composizione dei litotipi originari. Si tratta in genere di sedimenti fini, a prevalente supporto di matrice, rappresentati da ghiaia e ciottoli immersi in abbondante matrice di sabbia, limo e argilla. I clasti sono in genere spigolosi. Questi depositi relativamente diffusi lungo i versanti della valle del Dezzo ma presentano una maggiore estensione in corrispondenza delle aree sommitali, nella zone del M. Pora e del Colle Vareno, del Passo della Presolana e del Pian delle Città. In queste aree si ritrovano anche diversi coni colluviali impostati alla base delle piccole linee di impluvio che solcano i versanti. In ragione delle caratteristiche granulometriche sono principalmente da classificare come SM o GM, caratterizzati da una permeabilità bassa e da parametri geotecnici mediocri.

Materiale di riporto

Con questa voce sono stati rappresentati in carta alcuni accumuli di materiale inerte, riportato artificialmente dall'uomo, che per le loro dimensioni assumono una relativa importanza morfologica.

3. ASPETTI GEOMORFOLOGICI

Nell'ambito dello studio geologico del maggio 2005 sono state redatte una *Carta Geomorfologica di inquadramento*, alla scala 1:10.000 per tutto il territorio comunale, e una *Carta della dinamica geomorfologica di dettaglio con elementi litologici e geotecnici*, alla scala 1:2000 solo per le aree urbanizzate: nell'ambito del presente aggiornamento in data febbraio 2010 è stata riproposta, aggiornandola, la carta morfologica alla scala 1:10.000 estesa a tutto il territorio comunale.

Nella carta geomorfologica sono state rappresentate le forme fisiche del paesaggio intese come diretta manifestazione dei vari processi che coinvolgono la superficie terrestre. Le forme della superficie terrestre sono spesso dovute a processi legati al concorso ed alla sovrapposizione di diversi agenti morfologici la cui attività è determinata sia da fattori geologici, relativi alle condizioni litologiche e strutturali dei materiali coinvolti, sia da fattori climatici che possono accentuare di volta in volta l'importanza relativa di ciascun agente.

Nella *Carta Geomorfologica di inquadramento* in scala 1:10000 e nella *Carta della dinamica geomorfologica* in scala 1:2000 nella per la classificazione delle forme si è fatto riferimento alla legenda proposta in "*Criteri ed indirizzi relativi alla componente geologica nella pianificazione comunale secondo quanto disposto dall'art. 3 della L.R. 24 Novembre 1997, n. 41*", con alcune modificazioni apportate in relazione ad alcune situazioni specifiche riscontrate nel territorio del Comune di Angolo Terme.

La Carta è stata redatta principalmente sulla base di rilievi di campagna e sono stati consultati tutti gli altri studi di carattere geologico disponibili. In particolare, per quanto riguarda l'individuazione e la definizione dello stato di attività dei fenomeni franosi si è fatto riferimento anche alla Carta Inventario dei fenomeni franosi della Regione Lombardia.

Il criterio di base di ogni classificazione adottata è strettamente genetico e le forme sono state quindi distinte in funzione del principale agente morfologico che le ha generate.

Sono state quindi distinte forme legate principalmente all'azione all'azione della gravità, forme legate all'azione delle acque di dilavamento non incanalate e delle acque incanalate, alle quali sono dovute le forme fluviali, oppure legate all'attività delle acque in condizioni climatiche particolari, come le forme glaciali. Sono state inoltre distinte le forme antropiche, legate alle varie attività umane.

In riferimento alla dinamicità che caratterizza il modellamento della superficie terrestre i vari elementi morfologici relativi a ciascuna classe sono stati distinti tra loro anche in funzione dello stato di attività dei vari processi responsabili. Le forme individuate nel corso del rilievo di campagna sono state quindi distinte in tre categorie:

- a) inactive: forme e depositi legati a condizioni morfodinamiche e climatiche differenti da quelle attuali e quelli legati a processi che hanno portato a termine la loro evoluzione o che non possono più continuare ad evolversi;
- b) quiescenti: forme e depositi che, non avendo esaurito la propria evoluzione, possono riattivarsi, per i quali esistono evidenze geomorfologiche o testimonianze di attività nell'attuale sistema morfoclimatico;
- c) attive: le forme ed i depositi legati a processi in atto o ricorrenti in tempi brevi.

3.1. QUADRO GEOMORFOLOGICO LOCALE

Il territorio del comune di Angolo coincide con il tratto inferiore della valle del torrente Dezzo, dalla forra di Gorzone e Terzano fino all'altezza del Passo della Presolana, comprendendone il fondovalle, i versanti e le linee di cresta che ne segnano gli spartiacque con le valli confinanti; rientrano nel territorio del comune anche un tratto della parte medio-superiore del versante destro della Val Camonica, all'altezza di Anfurro, ed un settore del versante settentrionale del M. Altissimo compreso nel bacino del torrente Trobiolo.

L'assetto morfologico di questo territorio risulta definito e condizionato da tre fattori principali: le caratteristiche litologiche delle rocce affioranti, l'azione modellatrice esercitata in passato dal ghiacciaio e, successivamente al suo ritiro, la sovrapposizione alle forme glaciali dell'azione modellatrice delle acque superficiali.

Alle caratteristiche litologiche del substrato sono direttamente connessi lo sviluppo dei versanti della valle, con tratti di pareti rocciose alte e ripide, e la presenza di forre strette e profondamente incise in corrispondenza dei litotipi a maggior consistenza.

Da riferire alla natura litologica del substrato roccioso, prevalentemente di tipo carbonatico, è anche l'insieme delle manifestazioni carsiche che si ritrovano soprattutto lungo la forra della Via Mala, con grotte e sorgenti anche di portata cospicua, e nell'area del Pian delle Città, con doline e diffuse evidenze di corrosione superficiale.

L'azione glaciale è invece evidente sia con forme di deposito che con forme erosive. Le forme di deposito, connesse direttamente o indirettamente all'azione del ghiacciaio, sono evidenti soprattutto nella coltre di materiali

che occupa il fondovalle del Dezzo all'altezza di Angolo oltre che ai lembi più o meno estesi diffusi lungo i versanti.

L'azione erosiva assume maggiore risalto nella zona del lago Moro dove affiorano le rocce clastiche del Verrucano che per la loro resistenza all'alterazione hanno conservato meglio l'impronta glaciale: oltre alla conca di sovraescavazione occupata dallo stesso lago Moro l'area è profondamente caratterizzata dall'esarazione glaciale, con un paesaggio fatto di rocce affioranti o subaffioranti ben levigate che definiscono una serie continua di rilievi e depressioni poco accentuati ed arrotondati. L'escavazione glaciale ha inoltre approfondito il solco delle valli principali lasciando sospese sopra di esse le incisioni laterali: la valle del Dezzo risulta infatti sospesa rispetto alla Val Camonica mentre le valli laterali che vi confluiscono, come la valle di S. Giovanni, sono a loro volta sospese rispetto alla conca di Angolo.

Successivamente al ritiro dei ghiacci il ruolo di principale agente morfogenetico è stato assunto dalle acque superficiali che hanno determinato da un lato forme di deposito, con la formazione degli ampi conoidi alluvionali presenti nella conca di Angolo alla confluenza delle valli laterali, e dall'altro a forme di erosione lineare accentuata lungo i corsi d'acqua rimasti sospesi, con la creazione delle forre in roccia che caratterizzano i tratti del Dezzo a valle di Angolo e lungo la Via Mala ed i tratti inferiori di molte valli laterali. Le forme di erosione lineare si sono successivamente estese regressivamente intaccando gli stessi depositi alluvionali e quelli fluvioglaciali e glacialacustri creando l'insieme di terrazzi limitati da ripide scarpate che si trovano attualmente nella conca di Angolo.

3.2. DESCRIZIONE DEGLI ELEMENTI GEOMORFOLOGICI

3.2.a - Carta geomorfologica (scala 1:10.000)

Nel presente paragrafo sono descritte singolarmente le voci utilizzate nella legenda della *Carta geomorfologica* alla scala 1:10.000 e viene fornita un'interpretazione dei processi morfogenetici principali in relazione alla dinamica dei diversi settori.

3.2.a.1 - FORME, PROCESSI E DEPOSITI LEGATI ALLA GRAVITA'

Orlo di scarpata di degradazione e/o di frana - corpo di frana

L'orlo di scarpata di frana rappresenta l'estremo superiore della superficie creatasi entro il versante interessato da un fenomeno franoso, in seguito al movimento del materiale franato. Da questa voce della legenda è stata esclusa la maggior parte delle zone interessate da frane di crollo, alle quali è stata dedicata una voce apposita, per cui comprende principalmente fenomeni franosi che interessano i depositi superficiali, con forme di scorrimento, soprattutto planare, e forme di colata. La maggior parte dei fenomeni franosi presenti nel territorio comunale di Angolo Terme sono legati in modo diretto o indiretto all'erosione laterale da parte dei corsi d'acqua, come forme di erosione al piede o come forme gravitative successive, e pertanto i corpi di frana e gli accumuli di

frana sono in genere assenti perchè smantellati rapidamente dai corsi d'acqua stessi. Le scarpate di degradazione o di frana sono localizzate principalmente in corrispondenza dei fianchi dell'incisione lineare che il torrente Dezzo ha scavato entro i depositi superficiali che occupano il fondovalle nella conca di Angolo. La geometria dei fenomeni franosi, per lo più scivolamenti traslazionali causati dall'erosione al piede, in questi depositi è spesso influenzata dalla presenza di livelli a diversa granulometria e comportamento geotecnico, quali ad esempio livelli relativamente deboli di origine glaciolacustre, che inoltre determinano la presenza di venute d'acqua che favoriscono l'innescò dei fenomeni franosi, soprattutto di colata.

Alcune forme di degradazione intensa interessano localmente anche il substrato roccioso particolarmente fratturato dove, oltre a fenomeni di crollo o di scivolamento secondo superfici planari regolate da una o poche discontinuità, avvengono anche scivolamenti secondo superfici irregolari e complesse che tagliano le discontinuità primarie.

I corpi di frana di maggiore evidenza sono situati principalmente sui fianchi di valli laterali come la val Padone o la valle posta a sud di Prave e lungo i fianchi del Dezzo e sono legati soprattutto alla rimozione di sostegno al piede indotta dall'erosione dei corsi d'acqua. Questi fenomeni sono rappresentati in genere da forme di scivolamento traslazionale che coinvolgono la coltre dei depositi superficiali e, in alcuni casi, anche il sottostante substrato roccioso fratturato, passando a forme di colata (questa situazione si riscontra sul versante sinistro della valle posta a sud di Prave).

Lungo il Dezzo si segnalano in particolare:

- frana per scivolamento, attiva, che coinvolge il detrito ed i depositi glaciali e lacustri sottostanti, situata sul fianco sinistro della forra poco a monte della centrale idroelettrica Italcementi; la parte superiore della frana è attraversata dal canale di adduzione, coperto, che serve la centrale, provocando delle lesioni ed è stato previsto, da parte della proprietà, un intervento di consolidamento del settore superiore della frana per proteggere il canale.
- due frane relativamente profonde, attive, per scivolamento o colata entro il substrato roccioso, rappresentato da porfiriti, che costituisce la parte inferiore del fianco destro della forra subito a valle della confluenza della val Poia.

Orlo di scarpata torrentizia inattiva con fenomeni di degradazione quiescenti o attivi

Per buona parte del loro sviluppo, le scarpate di erosione che il torrente Dezzo ha inciso entro i depositi superficiali presenti al fondo della conca di Angolo risultano ormai inattive: questo si verifica soprattutto in corrispondenza delle sponde interne delle anse oppure nel tratto posto poco a monte di Dazze dove l'erosione al fondo ha raggiunto il substrato roccioso e non interessa più i depositi superficiali. Le scarpate inattive presentano tuttavia pendenze elevate, spesso non compatibili con le caratteristiche meccaniche dei terreni in cui sono impostate, questo ha provocato l'insorgere di fenomeni di degradazione che si sviluppano in modo indipendente dall'erosione torrentizia e che in alcuni casi possono evolversi in fenomeni di erosione superficiale da parte delle acque di ruscellamento oppure in fenomeni franosi veri e propri.

Piccola frana non fedelmente cartografabile

In questa voce sono state inserite le frane di piccole dimensioni, caratterizzate da nicchie di larghezza inferiore a 10 metri. Si tratta in genere di fenomeni superficiali, per scivolamento traslazionale o colata, impostatisi in corrispondenza di coltri eluviali o detritiche di versante in aree relativamente acclivi e spesso in presenza di piccole venute d'acqua.

Parete rocciosa potenzialmente interessata da fenomeni di crollo

I fenomeni franosi inseriti in questa voce sono rappresentati dalle forme di crollo intese in senso lato come distacco di volumi di materiale dalle pareti rocciose. Si tratta quindi sia di fenomeni di crollo vero e proprio sia di fenomeni di ribaltamento o di scorrimento planare. Questi fenomeni interessano in modo episodico buona parte delle pareti rocciose presenti nel territorio comunale e risultano relativamente diffusi od assumono caratteri particolari in corrispondenza di alcune aree. Sono infatti relativamente diffusi in corrispondenza delle pareti rocciose che costituiscono i fianchi della forra del Dezzo, lungo la via Mala, e delle forre dei suoi affluenti, in genere impostate entro i calcari massicci dell'Esino dove, in ragione dei caratteri litologici e strutturali della roccia, sono favoriti dalla forte acclività delle pareti stesse e dove risultano particolarmente evidenti in relazione alle volumetrie coinvolte. Allo stesso modo, in ragione delle volumetrie e del rilievo morfologico delle pareti, sono diffusi ed evidenti i crolli in corrispondenza degli affioramenti della Formazione di Breno, che costituiscono una cornice compresa tra i litotipi più erodibili del Gorno e del S. Giovanni Bianco. Sono inoltre diffusi in corrispondenza degli affioramenti del Gorno nel tratto di versante compreso tra il M. Lantana e il Colle Vareno, degli affioramenti del Calcare di Angolo lungo i versanti della Valle Bassile, e dell'Angolo, Prezzo e Livinallongo nel tratto inferiore della forra della Via Mala, dove gli ammassi rocciosi presentano in genere un grado di fratturazione più elevato che nelle altre zone. Soggetti a fenomeni di degradazione relativamente diffusi e accompagnati da episodi di crollo a causa della composizione litologica sono anche gli affioramenti del Calcare di Prezzo, soprattutto lungo gli impluvi che solcano il versante del M. Pora, e, per l'assetto strutturale e lo stato di alterazione, gli affioramenti della Dolomia Principale posti alla sommità del versante compreso tra il M. Ghigozzo e Malga Guccione. Ovviamente i fenomeni di crollo risultano relativamente più frequenti nelle aree poste a quote elevate, dove le condizioni climatiche possono accelerare i processi di alterazione e disgregazione, soprattutto quelli legati all'azione del gelo.

Dal punto di vista del rischio, inteso come combinazione tra possibilità che si verifichi un fenomeno di crollo e possibilità di avere un danno significativo a manufatti o pericolo per l'incolumità di persone, si segnalano principalmente:

- le pareti rocciose sovrastanti la via Mala, ovvero il tratto della SP294 disposto lungo la forra del Dezzo; che sono state inserite dalla Regione Lombardia nelle aree a rischio idrogeologico molto elevato definite ai sensi della l. 267/98 e che sono state interessate da un intervento di messa in sicurezza della sede stradale, con reti e funi di contenimento stese in aderenza e con barriere paramassi, che ha permesso di ridurre notevolmente il grado di pericolosità per buona parte del tracciato stradale;

- le pareti rocciose poste alla base del versante sinistro della valle del Dezzo, da Mazzunno a Terzano; per le quali è stata effettuata una perimetrazione della pericolosità in questa sede (Capitolo 5) in corrispondenza delle quali sono stati già realizzati alcuni interventi di messa in sicurezza con barriere paramassi;
- le pareti rocciose poste lungo la sponda occidentale del Lago Moro, a monte dalla strada per la località Rodino; dove sono già stati eseguiti alcuni interventi a difesa della strada, compreso un breve tratto di galleria artificiale.

Falda o cono di detrito

Le falde e i cono di detrito rappresentano le forme di accumulo connesse all'azione della forza di gravità che provoca la caduta, alla base delle pareti rocciose, dei detriti derivanti dai processi di frammentazione fisica e chimica, connessi alla degradazione meteorica e all'azione dei veri agenti esogeni. Questi accumuli sono rappresentati da sedimenti sciolti, a supporto clastico o, meno frequentemente, a supporto di matrice, costituiti da clasti a spigoli vivi con una percentuale variabile di matrice. Le dimensioni dei clasti sono molto variabili, dai blocchi alla ghiaia, in funzione delle caratteristiche litologiche delle rocce costituenti le pareti rocciose, e nell'ambito di uno stesso accumulo, in riferimento all'area di alimentazione, aumentano dalla zona prossimale alla zona distale. Sono organizzati in cono o falde a seconda che la zona di alimentazione sia concentrata o estesa lungo un fronte più o meno ampio. Queste forme sono diffuse in tutto il territorio comunale e gli accumuli più consistenti si registrano nella parte inferiore della valle del Dezzo, al raccordo tra le pareti rocciose ed i terrazzi morfologici di Anfurro, Angolo, Mazzunno e Terzano. Soprattutto nelle zone poste alle quote inferiori si tratta di forme ormai inattive e ben colonizzate dalla vegetazione mentre nelle altre zone prevalgono gli accumuli quiescenti, soggetti solo episodicamente all'alimentazione dalle pareti rocciose soprastanti. Le dimensioni maggiori dei clasti si rilevano per le falde poste alla base delle pareti rocciose costituite dai calcari massicci dell'Esino mentre dimensioni relativamente minori si ritrovano nelle falde poste alla base delle pareti costituite dalla litozona superiore del Calcere di Angolo.

Area interessata da reptazione e/o soliflusso

La reptazione, o creep, rappresenta dei movimenti lenti che, sotto l'azione della forza di gravità, coinvolgono le coltri di depositi superficiali che ricoprono i versanti. In particolare, la reptazione è un movimento dovuto all'assestamento delle singole particelle che costituiscono i depositi ed avviene molto lentamente, con spostamenti dell'ordine di pochi centimetri all'anno, e con velocità decrescenti dalla superficie verso le parti più interne del terreno. Le cause dell'assestamento delle singole particelle sono da ricercare nei cicli di gelo e disgelo, di umidificazione ed essiccazione, di dilatazione e contrazione termica, nell'azione delle radici dei vegetali oppure nell'azione degli animali che scavano il terreno. Può essere provocato anche dall'azione degli animali al pascolo. Questo fenomeno si manifesta con piccole scarpatine e decorticazioni del manto vegetale e può causare la crescita di alberi ricurvi. Fenomeni di reptazione sono relativamente diffusi nell'ambito de territorio comunale ed interessano soprattutto le coltri di origine eluviale o colluviale o le coltri di detrito di versante, meno frequentemente i depositi glaciali, in aree caratterizzate da una relativa acclività. Sono maggiormente evidenti nelle aree poste a quote più elevate dove è assente la copertura arborea ma sono in genere molto diffuse anche

nelle zone boscate delle quote medie. Il fenomeno appare particolarmente sviluppato nella zona del Colle di Vareno, per la quale si può parlare di vero e proprio soliflusso. Il soliflusso, infatti, coinvolge in particolare i depositi caratterizzati da matrice limoso-argillosa prevalente, quali appunto i depositi eluvio-colluviali presenti al Colle Vareno, che possono imbibirsi di acqua e diventare plastici, fluendo sotto l'azione della gravità. Questo fenomeno si può verificare anche su pendii a debole inclinazione. Il movimento è relativamente lento, dell'ordine di qualche decimetro l'anno, e determina il formarsi di lobi e ondulazioni sulla superficie dei versanti.

Sia il soliflusso che il creep possono evolversi in forme di maggior intensità determinando l'innescarsi di processi erosivi o di frane superficiali e questo, a parità di altre condizioni, avviene più facilmente nelle zone dove l'assenza di copertura arborea determina una minore protezione rispetto all'azione erosiva della pioggia e del ruscellamento.

3.2.a.2 - FORME, PROCESSI E DEPOSITI LEGATI ALLE ACQUE SUPERFICIALI

Orlo di scarpata di erosione torrentizia

Le scarpate di erosione torrentizia sono generate dall'attività erosionale dei corsi d'acqua, sia nel caso di erosione di fondo (connessa alla variazione del livello locale dell'erosione provocata dal ritiro dei ghiacciai, con abbassamento della quota dell'alveo e conseguente aumento dell'altezza e della pendenza delle sponde), sia nel caso di sola erosione laterale, legata alla migrazione delle sinuosità. Scarpate d'erosione laterale attiva o quiescente sono presenti diffusamente lungo l'alveo di alcuni corsi d'acqua minori, ma soprattutto lungo il corso del torrente Dezzo, sia in corrispondenza dei tratti di forra in roccia sia, con maggiore evidenza, lungo il tratto compreso tra Fornaci ed Angolo, dove la forra è impostata entro i depositi superficiali che occupano il fondovalle. Nei tratti relativamente rettilinei l'erosione laterale, in relazione alla variabilità dell'andamento della corrente durante le fasi di morbida e di piena, interessa in genere la ristretta fascia di alluvioni disposta al fondo della forra lateralmente all'alveo mentre, soprattutto lungo le sponde esterne delle anse, l'erosione interessa direttamente la base delle scarpate della forra e può provocare frane per erosione al piede.

Orlo di forra rocciosa

Le forre sono incisioni vallive strette e molto approfondite che rappresentano delle forme lineari legate all'azione erosiva di fondo dei corsi d'acqua. Le forre presenti lungo il corso del torrente Dezzo e lungo le maggiori valli laterali sono legate all'erosione regressiva sviluppatasi in seguito al ritiro dei ghiacci, quando sono rimaste sospese rispetto al fondovalle in cui confluiscono. In ragione delle caratteristiche litologiche delle rocce in cui sono impostate le forme presenti nell'area in esame sono fortemente incise e di notevole rilievo morfologico. Tutte le forme presenti nell'area sono tuttora attive, soggette alla continua erosione lineare dei corsi d'acqua che tuttavia, poichè interessa soprattutto il substrato roccioso, si manifesta in modo relativamente poco evidente.

Corsi d'acqua con tendenza all'erosione – Corsi d'acqua in erosione – Corsi d'acqua con erosione intensa

In relazione al quadro morfologico descritto, caratterizzato da corsi d'acqua rimasti sospesi rispetto ai fondovalle nei quali confluiscono in seguito al ritiro dei ghiacci, si registra una evidente tendenza all'erosione di fondo di fondo soprattutto lungo l'alveo dei corsi d'acqua laterali. A parità di capacità erosiva i fenomeni sono meno intensi

ed evidenti nei tratti di alveo impostati entro il substrato roccioso, per i quali si è rilevata in genere una certa tendenza all'erosione, mentre sono più evidenti nei tratti di alveo impostati entro i depositi superficiali dove l'erosione di fondo si accompagna spesso ad erosione laterale lungo le sponde. Localmente i fenomeni erosivi si manifestano con forte intensità in ragione sia delle condizioni morfologiche locali, intese principalmente come pendenza della curva di fondo e portata del corso d'acqua, sia di una maggiore erodibilità dei terreni.

Fenomeni di erosione particolarmente intensi sono presenti lungo i tratto più ripidi e impostati nei depositi superficiali dei torrenti Re Barzino, Padone, S. Giovanni e lungo lo stesso Dezzo, soprattutto nella zona di Angolo, dove il fondo e le sponde sono impostate in depositi glaciali e fluvioglaciali.

In ragione dei fenomeni erosivi presenti e delle caratteristiche complessive dei rispettivi bacini di alimentazione, i corsi d'acqua presenti entro il territorio comunale di Angolo sono soggetti al verificarsi di fenomeni di piena contraddistinti da un notevole trasporto solido. In occasione di eventi meteorici prolungati o di particolare intensità, le piene conseguenti possono infatti essere in grado di innescare nuovi processi erosivi o di accentuare quelli già esistenti, oppure di evacuare il materiale presente lungo gli alvei e derivante da fenomeni di erosione o degradazione che interessano i versanti delle incisioni vallive. Gli eventi di piena possono in questo modo determinare l'insorgere di episodi di trasporto in massa.

Alveo ingombro da materiale alluvionale e detritico

L'alveo di alcuni corsi d'acqua risulta a tratti ingombro da materiale sciolto che in alcuni casi è costituito dal materiale alluvionale deposto nei tratti a minor pendenza durante la fase calante delle piene, mentre in altri casi è rappresentato dal materiale detritico proveniente dalla degradazione delle pareti rocciose che costituiscono i fianchi degli impluvi. Materiale detritico è presente soprattutto lungo il tratto superiore dei bacini della Val Bassile e della Val di Sè, mentre materiale alluvionale compare localmente nel tratto inferiore delle due valli precedenti e della Valle di San Giovanni. Il materiale presente al fondo dell'alveo può nuovamente essere preso in carico dalla corrente e contribuire in questo modo al trasporto solido del corso d'acqua.

Solco di ruscellamento concentrato

I solchi d'erosione, o solchi di ruscellamento, sono fenomeni erosivi legati all'azione delle acque di scorrimento superficiale che tendono a concentrarsi lungo linee preferenziali. Queste forme erosive sono presenti localmente nell'area in esame, soprattutto in corrispondenza di coltri detritiche od eluviali in aree relativamente acclivi, o in corrispondenza di sbocchi fognari o sbocchi di corsi d'acqua intubati.

Area interessata da ruscellamento diffuso

Forme erosive dovute allo scorrimento superficiale delle acque meteoriche non incanalate, rappresentate dall'asportazione della copertura vegetale e dalla comparsa di piccoli solchi scavati dall'acqua, sono localmente presenti soprattutto in aree altimetricamente elevate e contraddistinte da una relativa acclività e da una copertura di depositi superficiali sciolti o poco coerenti. In alcuni casi le forme di ruscellamento si sono sviluppate come evoluzione di manifestazioni meno accentuate legate a fenomeni di creep o di soliflusso. Fenomeni di

ruscellamento sono attivi anche in corrispondenza dei depositi glaciolacustri che affiorano lungo un tratto della scarpata che limita il terrazzo morfologico di Mazzunno.

Area caratterizzata da ristagno d'acqua

Aree caratterizzate dalla presenza, stagionale o perenne, di ristagni d'acqua sulla superficie topografica oppure dalla venuta a giorno in modo diffuso di acque sotterranee. Tali zone sono presenti localmente nell'ambito del territorio comunale e sono spesso favorite dalla stessa conformazione topografica dei siti, laddove vi sono delle piccole depressioni, oppure sono legate alla presenza di depositi superficiali o di rocce relativamente impermeabili che non permettono l'infiltrazione delle acque meteoriche. Queste zone presentano in genere un'estensione limitata e si ritrovano spesso in corrispondenza di piccole depressioni legate all'esarazione glaciale, come ad esempio una ristretta fascia ad est della chiesa di San Silvestro. Zone interessate da fenomeni di ristagno d'acqua sono anche diffuse alla base delle scarpate d'erosione del torrente Dezzo, nella zona di Angolo, dove la loro presenza è legata alla presenza dei depositi glaciolacustri che, per la loro bassa permeabilità, impediscono l'infiltrazione delle acque superficiali e portano in affioramento sulle scarpate le acque sotterranee.

Area potenzialmente alluvionabile

Le aree alluvionabili rappresentano quelle zone, prossime all'alveo dei corsi d'acqua, che, per le loro caratteristiche topografiche, possono essere raggiunte dall'acqua uscita dall'alveo ordinario durante i maggiori eventi di piena. I corsi d'acqua presenti nell'area in esame sono generalmente soggetti a fenomeni di erosione e scorrono in genere al fondo di incisioni relativamente profonde: le aree sicuramente alluvionabili sono limitate a ristrette fasce poste al fondo delle incisioni, immediatamente a ridosso dell'alveo e spesso in corrispondenza delle sponde interne delle anse. Solo il torrente Dezzo presenta, nella zona di Angolo, una piana alluvionale relativamente ampia. Un settore di questa piana, sul quale si trovano l'impianto di imbottigliamento e parte del parco e delle strutture del le Terme, presenta una situazione relativamente critica, così come risulta su base morfologica e mediante stime di portata e verifiche idrauliche sulle sezioni di deflusso del torrente Dezzo.

Conoide alluvionale

Conoidi alluvionali relativamente ampi sono presenti soprattutto alla confluenza nel torrente Dezzo dei corsi d'acqua laterali ed in alcuni casi (valle di Padone e valle Fada) anche lungo il loro tratto intermedio, in corrispondenza di una sensibile diminuzione della pendenza della curva di fondo. Nella conca di Angolo le forme relative ai corsi d'acqua maggiori sono costituite in realtà da due generazioni successive di conoidi: le forme più ampie ed evidenti si raccordano infatti ai ripiani dei terrazzi fluvio-glaciali scavati dal torrente Dezzo e risultano profondamente incise per tutta la loro estensione, a partire dalla parte apicale, mentre nella zona distale compaiono forme di minori dimensioni. Nel caso della valle di S. Giovanni si possono osservare più serie di terrazzi d'erosione impostati all'interno del conoide. Le forme più evidenti sono pertanto antiche, relative ad una fase in cui il Dezzo non aveva ancora approfondito il proprio alveo entro i depositi che riempiono il fondovalle, e sono ormai inattive: l'erosione di fondo lungo il Dezzo si è successivamente estesa regressivamente anche lungo i corsi d'acqua tributari incidendo profondamente i conoidi ed il materiale trasportato dai corsi d'acqua ha creato

nuovi conoidi di minori dimensioni nella loro zona distale. Lo sviluppo regressivo dell'erosione di fondo si è talmente esteso da interessare anche i conoidi presenti nel tratto intermedio dei torrenti di Padone e della Valle Fada. In relazione alle condizioni geologiche e morfologiche dei rispettivi bacini di alimentazione i conoidi recenti sono invece da ritenere come forme quiescenti ancora potenzialmente soggette ad episodi di alimentazione in concomitanza delle piene maggiori che, a seconda dei casi, possono coinvolgere l'intera area del conoide oppure un solo settore di essa.

Cono colluviale

I cono colluviali sono forme molto simili ai cono alluvionali ma risultano costituiti da materiale prevalentemente fine, e non sono necessariamente posti al termine di una linea di impluvio netta; essi sono legati alla deposizione di materiale sotto forma di piccole colate da parte delle acque di ruscellamento. Queste forme, ora inattive, compaiono localmente nelle zone altimetricamente più elevate dove è diffusa la copertura di depositi eluviali.

Laghi e specchi d'acqua

Il territorio comunale di Angolo Terme comprende la metà occidentale del lago Moro e altri piccoli specchi d'acqua situati in prossimità di esso. tutti impostati in corrispondenza di depressioni dovute all'erosione glaciale, guidata dall'assetto strutturale per quanto riguarda il lago Moro.

3.2.a.3 - ELEMENTI IDROLOGICI, IDROGRAFICI E IDROGEOLOGICI

Corsi d'acqua (/impluvi) a regime perenne o temporaneo

Queste voci della legenda descrivono il regime fluviale dei corsi d'acqua presenti entro il territorio comunale di Angolo. Il torrente Dezzo ed i suoi maggiori affluenti, come ad esempio la Valle di S. Giovanni, sono caratterizzati da una portata variabile, ma continua durante l'intero arco nell'anno, mentre gli altri corsi d'acqua presentano periodi più o meno brevi a portata nulla, in relazione sia alla ridotta dimensione del proprio bacino di alimentazione sia alla composizione litologica prevalentemente carbonatica del substrato roccioso che favorisce l'infiltrazione dell'acqua in profondità. I corsi d'acqua minori sono inoltre contraddistinti da una notevole pendenza media del profilo longitudinale e da un breve tempo di corrivazione: questi fattori possono favorire, in seguito a precipitazioni particolarmente intense, l'insorgere di fenomeni di piena improvvisi e violenti.

Sorgenti captate o non captate e area con manifestazioni sorgentizie diffuse

La maggior parte delle sorgenti presenti nell'area in esame è legata a fenomeni di tipo carsico che interessano il substrato roccioso, prevalentemente di composizione carbonatica; solo alcune sorgenti minori, e generalmente non sfruttate, sono invece legate ad acquiferi contenuti nei depositi superficiali o in rocce fratturate, ma non carsificate: per lo più, queste sorgenti sono localizzate alla base delle scarpate di erosione incise dal torrente Dezzo entro i depositi superficiali della conca di Angolo e la venuta a giorno delle acque è legata alla differenza di permeabilità esistente tra i depositi fluvioglaciali ed i sottostanti orizzonti glaciolacustri. Il maggior numero di sorgenti alimentate dalla suddetta rete carsica è invece concentrato lungo la forra del torrente Dezzo, dove, oltre a sorgenti ben localizzate e caratterizzate talvolta da portate considerevoli, sono presenti anche delle aree

contraddistinte da numerose venute d'acqua ravvicinate. La forra del torrente Dezzo è infatti incisa profondamente entro il massiccio carbonatico e rappresenta pertanto una linea di drenaggio per tutte le acque circolanti nei condotti che ne sono intersecati. La disposizione e la geometria strutturale delle unità carbonatiche fanno sì che la forra del Dezzo possa drenare le acque che si infiltrano nelle aree poste sia in destra sia in sinistra idrografica. In particolare, gran parte delle manifestazioni sorgentizie è ubicata nella parte inferiore della forra della Via Mala, subito a monte del contatto con le formazioni sottostanti al Calcere di Esino, tra le quali il Calcere di Prezzo rappresenta un livello relativamente impermeabile. I circuiti idrogeologici di tipo carsico sono in genere contraddistinti da un'elevata vulnerabilità, sia per le modalità di infiltrazione delle acque, in aree ad elevata permeabilità, sia per lo schema di circolazione in condotti che possono consentire velocità di transito relativamente elevate entro rocce caratterizzate da una bassa capacità di scambio che, quindi, non favoriscono l'autodepurazione.

Pozzo privato per uso termale

L'alimentazione delle sorgenti minerali di Angolo è connessa ad un reticolo di condotti carsici: le acque che si infiltrano in profondità in corrispondenza delle formazioni carbonatiche viaggiano entro condotti carsici il cui recapito è probabilmente rappresentato dalle rocce anidritiche della Carniola di Bovegno, la cui posizione strutturale coincide con la fascia di depositi superficiali che ricopre il fondo e la base del versante sinistro del tratto inferiore della valle del torrente Dezzo. Le acque minerali sono in grado di sgorgare naturalmente in superficie tuttavia le necessità produttive hanno portato alla realizzazione di pozzi (pozzo "San Silvestro" e pozzo "Fonte Nuova") per il loro sfruttamento.

3.2.a.4 - FORME, PROCESSI E DEPOSITI LEGATI ALL'ATTIVITA' GLACIALE E NIVALE

Aree interessate da fenomeni di valanga con pericolosità da media ad elevata- Aree potenzialmente interessate da fenomeni di valanga con pericolosità da bassa a media - Canaloni di valanga

Le ripide linee di impluvio presenti sul versante est del monte Pora, principalmente all'interno dei bacini della valle del Re Barzino, della val di Sé e della val Bassile, in condizioni meteo-climatiche favorevoli, possono essere percorse da masse nevose scivolose a partire dalla zona superiore del versante. In relazione principalmente alla quota le zone sono state distinte in aree interessate stagionalmente da fenomeni di valanga, dove questi fenomeni si manifestano stagionalmente in relazione alle condizioni medie di innevamento, e in zone potenzialmente interessate dai fenomeni di valanga, dove le condizioni favorevoli al loro innesco si manifestano solo in anni particolarmente nevosi. Le condizioni di pericolosità sono in genere maggiori per le aree soggette stagionalmente ai fenomeni, ma possono essere relativamente consistenti anche per le altre zone, in ragione principalmente delle situazioni topografiche locali. In ragione della morfologia del versante le zone di distacco della neve hanno un'estensione relativamente contenuta e le masse nevose si propagano lungo canaloni rappresentati dalle ripide incisioni che solcano il versante e sono in grado di raggiungere il settore inferiore del versante rimanendo sempre ben confinate all'interno degli impluvi .

Sono potenzialmente soggetti a fenomeni di valanga, sia pure di intensità minore, anche i pendii non eccessivamente ripidi e governati a pascolo presenti sul versante settentrionale del Monte Pora. In questi settori si sviluppano anche alcune piste da sci e localmente sono state realizzate delle rastrelliere da neve per proteggere le piste e gli impianti di risalita. Le aree

Gradino di valle sospesa

A causa dell'intensa attività erosiva operata dai ghiacciai ed al conseguente approfondimento dei solchi vallivi da essi occupati, numerose valli laterali che originariamente si raccordavano direttamente al fondovalle si sono trovate invece sospese, in seguito al ritiro dei ghiacciai, rispetto al fondo del solco principale. In questo modo le valli confluenti nel Dezzo sono rimaste sospese rispetto al fondovalle del torrente e quest'ultimo è rimasto a sua volta sospeso rispetto al fondovalle dell'Oglio. La variazione del livello locale di erosione provocata dal ritiro dei ghiacciai ha pertanto innescato lungo il tratto inferiore di questi corsi d'acqua lo sviluppo di intensi fenomeni di erosione lineare regressiva, tuttora attiva, che hanno generato le forre che li caratterizzano.

Orlo di terrazzo di kame

I terrazzi di kame sono forme legate all'attività deposizionale dei ghiacciai e sono costituiti da till proglaciali e sopraglaciali che vengono depositi all'esterno della lingua glaciale registrando di volta in volta la posizione altimetrica raggiunta sul versante dalla massa glaciale nel corso delle variazioni di volume che essa subisce. Ovviamente i terrazzi più esterni e posti alle quote maggiori segnano il punto toccato durante la fase di massima avanzata e si sono conservati perchè la loro posizione altimetrica non più stata raggiunta nel corso delle successive pulsazioni della massa glaciale; sono quindi più antichi di quelli presenti alle quote minori e segnano i vari momenti di relativa stasi nell'ambito della fase di ritiro. In seguito all'intensa erosione operata soprattutto dalle acque superficiali successivamente al ritiro dei ghiacci anche queste forme sono state in gran parte obliterate e solo localmente, a monte di Angolo e nella zona di Padone, si possono ancora riconoscere alcuni tratti degli orli originariamente presenti.

Masso erratico

Le creste dei cordoni morenici ed i terrazzi di kame rappresentano gli accumuli morfologicamente più evidenti connessi all'attività deposizionale dei ghiacciai. Nell'area in esame queste forme sono però state quasi completamente obliterate dall'erosione; in alcune aree l'erosione è stata tanto intensa che l'attività deposizionale del ghiacciaio è testimoniata solamente da blocchi isolati, costituiti da rocce che non affiorano nell'area in cui si trovano e che vengono indicati con il nome di massi erratici.

Rocce levigate dall'esarazione glaciale

L'attività erosiva operata dai ghiacciai risulta spesso evidente oltre che dal profilo delle valli e dalla presenza di ampie conche di escavazione, come quella attualmente occupata dal Lago Moro, anche nell'aspetto delle superfici rocciose, nel caso in cui queste ne abbiano conservato la testimonianza perchè costituite da litotipi sufficientemente resistenti all'erosione. Le superfici rocciose direttamente interessate dall'esarazione sono in genere contraddistinte da forme relativamente dolci ed appaiono frequentemente ondulate e spesso ben levigate,

molte volte si possono osservare anche scanalature, solchi o strie. Nell'area in esame queste forme si sono conservate quasi esclusivamente in corrispondenza delle rocce del Verrucano Lombardo, nelle zone circostanti la conca del Lago Moro.

3.2.a.5 - FORME CARSICHE

Dolina

La natura calcarea o dolomitica di gran parte del substrato roccioso ha favorito lo svilupparsi di forme carsiche, legate alla dissoluzione dei carbonati. Nell'area in esame i fenomeni carsici risultano infatti relativamente diffusi ed interessano soprattutto i calcari e le dolomie dell'Esino e della Dolomia Principale. Le forme di dissoluzione più evidenti sono rappresentate da doline, depressioni di forma circolare od ellittica e di dimensione decametrica che compaiono nella zona del Pian delle Città. Queste forme sono legate alla dissoluzione sviluppatasi a partire dalla superficie in corrispondenza di un'area caratterizzata dalla presenza di fratture che hanno rappresentato una via preferenziale di infiltrazione per le acque. Sicuramente una parte delle acque che si infiltra in corrispondenza di quest'area viene a giorno in corrispondenza del sottostante contatto con il S. Giovanni Bianco alimentando le sorgenti presenti nella zona della Valle di S. Giovanni, ma è anche probabile che parte dell'acqua scorra lungo questo contatto verso l'interno del versante per poi venire a giorno lungo la forra del Dezzo o attraverso fratture che pervadono il S. Giovanni Bianco, oppure in corrispondenza di condotti sviluppati entro eventuali orizzonti gessosi o anidritici presenti in questa formazione. Oltre alle doline sono diffuse anche altre forme minori di dissoluzione superficiale come scannellature, docce, solchi o inghiottitoi.

Grotta

Assieme alle doline le grotte costituiscono i più evidenti elementi morfologici legati all'attività carsica. Le grotte rappresentano l'intersezione dei condotti e delle gallerie sotterranee con la superficie topografica e possono costituire sia dei punti di infiltrazione dell'acqua, ed in tal caso presentano spesso un andamento verticale, sia dei punti di affioramento, con andamento generalmente orizzontale. Grotte o cavità di minori dimensioni, che spesso alimentano sorgenti carsiche, sono diffuse soprattutto lungo gli affioramenti del calcare di Esino lungo le forre del torrente Dezzo e dei suoi affluenti maggiori a testimonianza della presenza di un reticolato carsico ben sviluppato ed esteso.

3.2.a.6 - FORME, PROCESSI E DEPOSITI ANTROPICI

Orlo di scarpata artificiale

Con questa voce sono state segnalate tutte le scarpate di origine antropica non connesse all'attività di cava. Nella maggior parte dei casi si tratta di scarpate relative a sbancamenti effettuati nel corso di lavori stradali, soprattutto nel caso di strade costruite a mezzacosta che non sempre sono state realizzate in modo da evitare di compromettere la stabilità dei pendii interessati, non eseguendo le necessarie opere di completamento. Questa situazione si rileva localmente lungo alcune strade secondarie che collegano le località montane con il fondovalle e soprattutto lungo il tratto di strada, chiusa al traffico, che collega il Passo della Presolana con il Colle Varenò,

passando per la località di Castello Orseto. Gli sbancamenti stradali non adeguatamente sostenuti o completati sono infatti soggetti in più punti a piccoli fenomeni erosivi o di franamento.

Discarica di inerti

Le discariche di inerti rilevate sul territorio sono rappresentate dagli accumuli dello smarino derivante dai lavori di scavo delle gallerie della SS 294 e sono quindi costituite da frammenti di rocce carbonatiche di varia pezzatura. Una delle discariche è situata poco a valle del tracciato stradale mentre le altre sono state realizzate scaricando il materiale al fondo del torrente Dezzo a partire dalle finestre di ventilazione. Questi ultimi accumuli sono interessati da fenomeni di erosione al piede da parte del torrente.

Cava di lapidei

Nell'ambito del territorio comunale di Angolo non sono attualmente presenti cave attive. L'unica cava abbandonata evidente si trova poco a monte della località Fornaci dove venivano sfruttati per ricavarne pietre da costruzione i blocchi presenti nella falda detritica, costituiti dai calcari massicci dell'Esino. Sempre nei pressi della località Fornaci in passato venivano sfruttati, per la produzione di laterizi, i depositi argilloso-limosi di origine glaciolacustre.

Terrazzamenti agrari

Nell'area esaminata i versanti appaiono in molti casi interessati dalla presenza di terrazzamenti artificiali (terrazzamenti agrari) realizzati per diminuire localmente l'originaria pendenza e recuperare in questo modo delle aree coltivabili. I terrazzamenti artificiali sono in genere sostenuti da muri a gravità realizzati con pietrame a secco e di altezza variabile da 1 a 2,5 m a seconda della situazione topografica locale. I terrazzamenti artificiali sono diffusi soprattutto nella fascia detritica e lungo la scarpata del ripiano fluvioglaciale tra Terzano e Mazzunno e dei depositi detritici e glaciali del versante posto a valle di Anfurro. L'abbandono delle attività agricole ha determinato localmente il degrado delle aree, testimoniato dall'invasione della vegetazione infestante e la conseguente mancanza di manutenzione delle opere di sostegno è stata in più occasioni la causa di piccoli franamenti che hanno coinvolto i muri di sostegno ed il terreno posto a tergo.

Tracce di pascolamento/reptazione agricola

La presenza di animali da pascolo è una delle tante cause della comparsa delle tipiche forme associate al fenomeno di creep superficiale, rappresentate da piccole scarpatine e locali decortizzazioni del manto vegetale che vengono anche chiamate impronte d'armenti. Quando un'area è sottoposta ad un eccessivo carico di bestiame queste forme possono assumere un carattere areale ed interessare superfici notevoli in corrispondenza delle quali si verifica la distruzione del manto vegetale ed il rimaneggiamento dell'orizzonte superficiale. In questa situazione le aree interessate si trovano facilmente esposte al rischio di fenomeni erosivi legati alle acque di scorrimento superficiale. Zone soggette a reptazione da pascolo si trovano soprattutto nei pressi di Padone e del Colle Vareno.

Alveo incanalato artificialmente

L'alveo dei corsi d'acqua presenti nel territorio comunale è in genere naturale, a volte con presenza di opere di difesa delle sponde, presenti soprattutto lungo il torrente Dezzo e localmente, in prossimità o corrispondenza dei centri abitati, lungo i principali affluenti. Completamente incanalato artificialmente, con fondo e sponde rivestiti in conci di pietra, è solo il tratto terminale del torrente della valle di S. Giovanni, in prossimità dell'impianto idroelettrico di Mazzuno. Altri corsi d'acqua di entità minore, in corrispondenza dei centri abitati, sono stati invece completamente intubati.

Gabbioni

I gabbioni sono strutture realizzate con una gabbia a forma di parallelepipedo in maglia in filo d'acciaio zincato, riempite con materiale lapideo di pezzatura grossolana, e sono presenti come elementi costitutivi di varie opere. Principalmente sono stati utilizzati per la realizzazione di opere di difesa di sponda o di arginature e come opere di sostegno alla base di scarpate di frana o in degradazione. In legenda sono stati distinti in funzione dello stato di integrità della struttura dei gabbioni e dell'esistenza di un'eventuale scalzamento alla base.

In particolare, oltre a numerosi interventi minori, i gabbioni sono stati utilizzati per realizzare tratti di difesa spondale lungo la sponda sinistra del torrente Dezzo, in corrispondenza della zona delle Terme, una briglia di ritenuta nel tratto inferiore del torrente della valle di S. Giovanni e una briglia di ritenuta nella zona apicale del Re Barzino.

Briglie integre/scalzate e/o danneggiate

Le briglie sono opere di consolidamento dei corsi d'acqua che si prefiggono lo scopo di ridurre la tendenza all'erosione dei torrenti e di ottenere in tal modo la stabilizzazione degli alvei. Sono opere idrauliche trasversali, col coronamento più alto rispetto al fondo dell'alveo. Le briglie, introducendo salti di fondo, diminuiscono per tratti la pendenza e quindi la capacità erosiva della corrente, stabilizzando allo stesso tempo le sponde con la creazione di un riporto al piede. In legenda, le briglie sono state distinte in base allo stato di integrità della struttura, evidenziando l'eventuale scalzamento al piede o le lesioni all'opera.

Briglie, in genere lesionate per scalzamento, sono presenti lungo il torrente Dezzo nel tratto compreso tra l'abitato di Angolo e la forra rocciosa della via Mala. Tratti d'alveo consolidati con briglie sono presenti anche lungo alcuni affluenti del Dezzo, in particolare lungo il tratto inferiore della valle di S. Giovanni; dove sono in genere lesionate; nella zona del conoide del Re Barzino, e nel tratto inferiore e medio della Val Fada.

Muro di sponda integro/scalzato e/o danneggiato

Opera longitudinale di protezione delle sponde che si propone di evitarne l'erosione oppure utilizzata per sovralzare la sponda ed arginare gli eventi di piena. La difesa di sponda con muri è impiegata quando siano da contenere al minimo gli spazi occupati dal torrente, per la presenza di manufatti antropici, quali abitazioni o strade (per le quali funge anche da sostegno), o per la presenza di sponde molto ripide.

Muri a protezione della sponda si ritrovano soprattutto lungo il corso del Dezzo, in particolare a difesa e sostegno della sede della SP294 nella forra rocciosa posta a monte di Angolo.

Scogliera integra/scalzata e/o danneggiata

Le opere di protezione di sponda in genere si propongono principalmente di evitarne l'erosione, specie quando essa possa compromettere la stabilità dei versanti. Esse sono realizzate cercando di fissare la linea di sponda, evitandone lo scalzamento e l'arretramento. Con questa voce sono state classificate tutte le opere costituite da grossi massi (di forma arrotondata) o blocchi (a spigoli vivi) di pietra, disposti sia secco, sia intasati con terreno sia a intasati con calcestruzzo. In legenda i tratti di scogliera sono stati distinti in base allo stato di integrità della struttura, evidenziando l'eventuale scalzamento al piede o le lesioni all'opera. Tratti di scogliera intasata con calcestruzzo sono presenti localmente lungo il torrente Dezzo nella zona di Angolo.

Pennello integro/scalzato e/o danneggiato

I pennelli sono opere di difesa "sporgenti", cioè radicate alla sponda e protese verso l'alveo; essi sono utilizzati per deviare la corrente in modo che non eroda la sponda nella quale sono ammorsati. La presenza di pennelli tende a creare zone d'alveo inattive ai fini del deflusso, nelle quali, specie durante le piene, si sedimenta una parte del materiale trasportato dalla corrente. La stabilità dei manufatti può essere compromessa dall'azione della corrente che li investe e dallo scavo che può crearsi attorno alla loro testa. I pennelli vengono anche impiegati per proteggere dallo scalzamento i muri di sponda quando le loro fondamenta non siano adeguatamente approfondite rispetto all'alveo. In legenda i pennelli sono stati distinti in base allo stato di integrità della loro struttura.

Alcuni pennelli sono presenti lungo il corso del torrente Dezzo in destra idrografica, sia nel tratto posto all'altezza delle Terme, per evitare l'erosione alla base della scarpata dell'abitato di Angolo destra, sia nel tratto della forra rocciosa, per proteggere il muro di sponda e di sostegno della SP294. In entrambi i casi la forza erosiva del torrente ha lesionato anche fortemente i pennelli, che in alcuni casi sono stati completamente asportati.

Sistemazione di frana con bioingegneria

Le tecniche della bioingegneria, o ingegneria naturalistica, utilizzano materiale vegetale (alberi, cespugli, piante erbacee), da solo o in combinazione con altri materiali ausiliari (legname, pietrame, geotessili in fibra naturale), quale metodo di sistemazione e consolidamento di versanti interessati da fenomeni franosi. Con questi materiali si realizzano, per esempio, palificate, grate vive, graticciate, gradonature, rinverdimenti di copertura. Interventi di sistemazione con queste tecniche si riscontrano localmente nel territorio comunale. In particolare si ricorda la sistemazione della frana che aveva interessato un tratto della scarpata del Dezzo a valle dell'abitato di Angolo, di fronte all'impianto di imbottigliamento delle Terme.

Rete/barriera paramassi

Per proteggere costruzioni o infrastrutture dai fenomeni di caduta massi che interessano localmente le pareti rocciose sono state disposte in molti punti delle opere di difesa rappresentate sia da reti, spesso accoppiate a funi, disposte in aderenza sulle pareti rocciose sia da barriere paramassi poste alla base delle pareti. Queste opere si trovano soprattutto lungo le pareti rocciose poste a monte delle strade ed in particolare lungo la via Mala, ovvero il tratto della SP294 (ex-SS294) posto lungo la forra del torrente Dezzo, e lungo il tratto posto a valle di Terzano. Principalmente si tratta di reti e funi in aderenza e solo subordinatamente di barriere paramassi del tipo

ad alto assorbimento di energia. Una barriera paramassi di tipo rigido, con montanti in acciaio e traverse in legno si trova invece a monte della scuola materna di Terzano.

Barriera paravalanghe

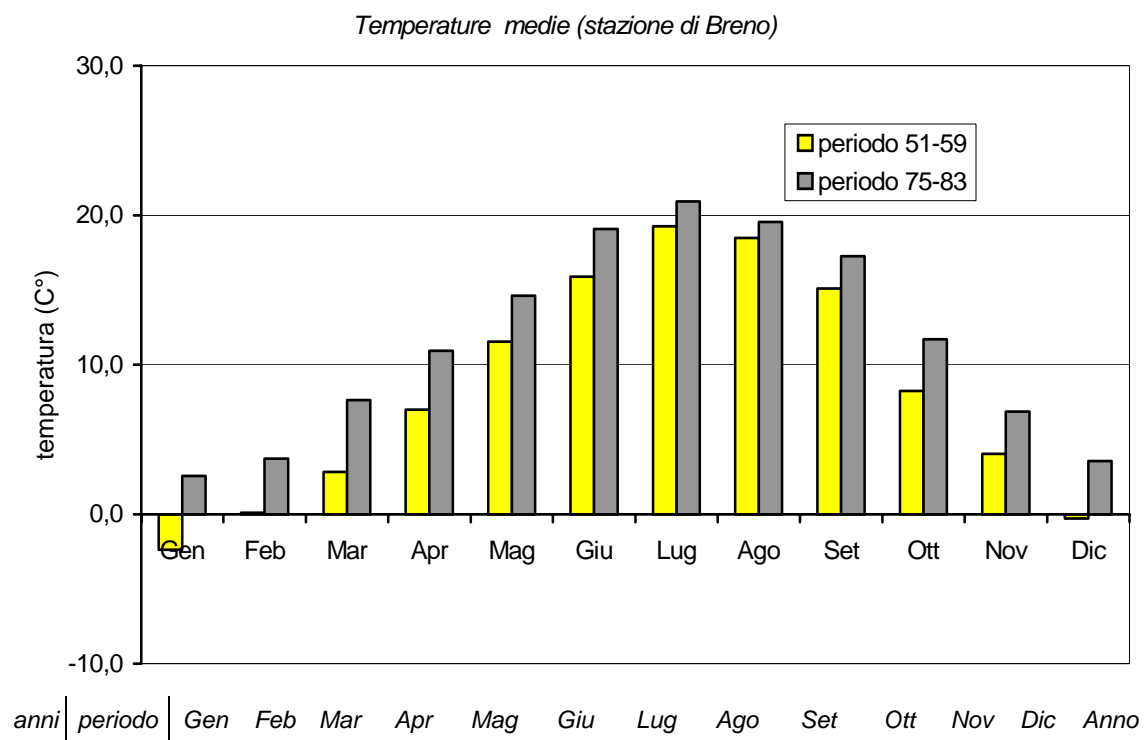
Opere di difesa dalla caduta di valanghe, rappresentate da rastrelliere metalliche in grado di impedire lo scivolamento verso valle della coltre nevosa, sono state disposte lungo il versante meridionale della sella di Varena, a protezione degli impianti di risalita e delle piste da sci.

4. ASPETTI METEO-CLIMATICI, IDROGEOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROLOGICI

4.1 - ASPETTI METEO-CLIMATICI

Nel territorio comunale di Angolo Terme esiste solo una stazione di rilevamento dei dati pluviometrici localizzata in corrispondenza della centrale idroelettrica di Mazzunno. Per questa stazione sono disponibili i dati delle precipitazioni medie registrati nel periodo 1951-1959.

Una maggiore quantità di dati è invece disponibile per la stazione di Breno, posta a pochi chilometri dalla zona di Angolo, e che può pertanto essere assunta come rappresentativa. Anche per la stazione di Breno i dati disponibili non sono continui, ma abbracciano solo due intervalli di tempo relativamente brevi per un totale di 17 anni per le



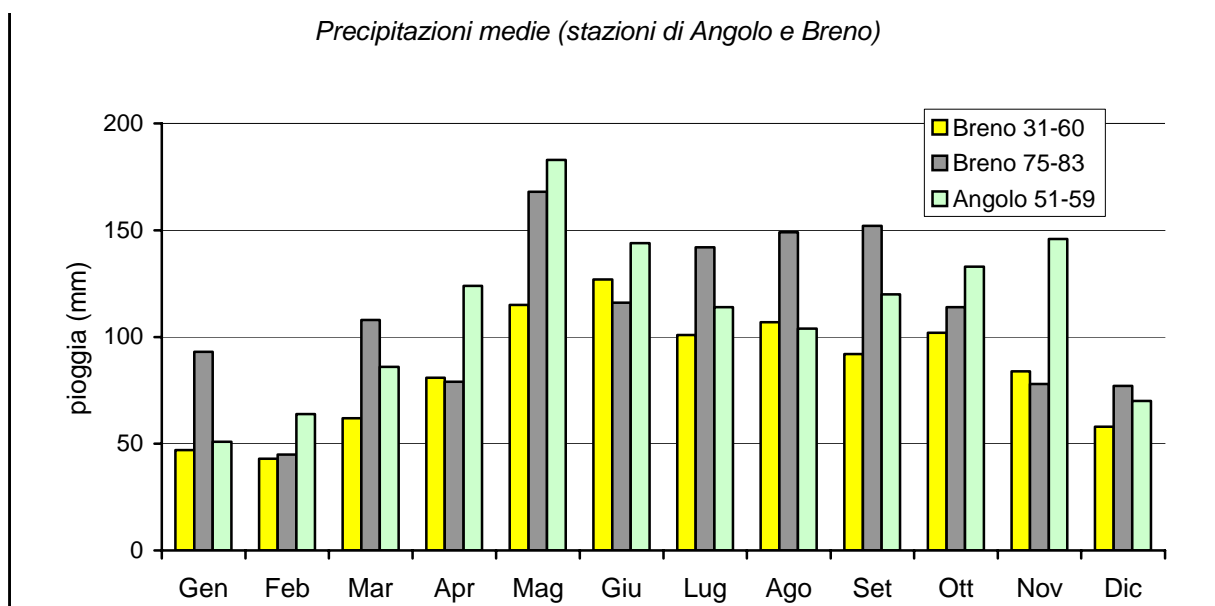
9	1951-59	-0,8	0,1	2,4	6,6	15,5	16,1	20,1	18,6	13,6	5,5	3,3	0,9	8,5	°C
8	1975-83	2,6	3,7	7,6	10,9	14,6	19,1	20,9	19,6	17,3	11,7	6,9	3,6	11,5	°C

temperature e 38 anni per le precipitazioni.

La media annuale delle temperature alla stazione di Breno, riferita al periodo '51-'59 è di 8.3 C° mentre la media per il periodo '75-'83 è più alta e pari a 11.5 C°; la media ponderata su tutto il periodo di osservazioni è invece di 9.8 C°.

L'esame dei dati pluviometrici mostra alcune differenze tra la stazione di Angolo e quella di Breno, e per questa ultima, delle differenze tra i due periodi di osservazione: la media delle precipitazioni annuali è maggiore per la stazione di Angolo, mentre per la stazione di Breno si osserva un valore ben maggiore per l'intervallo '75-'83 rispetto al periodo trentennale '31-'60.

Sostanzialmente la distribuzione delle precipitazioni è caratterizzata da un periodo di massimo tardo-primaverile ed estivo che può estendersi, con un massimo relativo, anche al periodo autunnale e da un periodo di minimo in inverno. Il massimo mensile si registra di norma in maggio o in luglio.



Stazione	anni	periodo	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Anno	
Angolo	10	51-59	51	64	86	124	183	144	114	104	120	133	146	70	1339	mm
Breno	30	31-60	47	43	62	81	115	127	101	107	92	102	84	58	1019	mm
Breno	8	75-83	93	45	108	79	168	116	142	149	152	114	78	77	1320	mm

4.2. - ASPETTI IDROGEOLOGICI GENERALI

L'assetto idrogeologico del tratto inferiore della valle del torrente Dezzo, con il quale coincide per buona parte il territorio del comune di Angolo Terme, risulta relativamente articolato, a causa della complessità strutturale d'insieme e della varietà litologica sia del substrato roccioso sia dei depositi superficiali.

In estrema sintesi, le acque sotterranee che affiorano lungo i fianchi delle incisioni del torrente Dezzo e dei suoi principali affluenti sono legate sia ad acquiferi contenuti nel substrato roccioso, principalmente di tipo carsico e caratterizzati da percorsi relativamente profondi, con velocità di transito elevate ed una notevole vulnerabilità, sia ad acquiferi porosi contenuti nei depositi superficiali.

L'assetto strutturale complessivo del bacino idrografico del torrente Dezzo è caratterizzato da una disposizione delle unità del substrato roccioso che favorisce nel complesso il movimento verso l'asse vallivo delle acque sotterranee che si infiltrano dalla superficie e scorrono in profondità entro fratture o condotti carsici. Le acque che si infiltrano dalla superficie entro le fratture della roccia tendono infatti a muoversi in profondità con direzione principalmente verticale fino a quando non incontrano livelli relativamente impermeabili che le portano a scorrere con direzione parallela alla stratificazione.

Le unità carbonatiche presenti definiscono nel complesso una struttura sinclinale disposta con piano assiale orientato in senso est-ovest, parallelo al tratto superiore della valle del Dezzo e tagliato normalmente dal corso inferiore del torrente, che rappresenta pertanto l'asse principale di drenaggio della struttura. La disposizione e la geometria strutturale delle unità carbonatiche fanno sì che la forra del Dezzo possa drenare le acque che si infiltrano nelle aree poste sia in destra sia in sinistra idrografica.

Questa considerazione è suffragata dalla presenza di numerose sorgenti anche di notevole consistenza, situate alla base di entrambi i versanti della valle del Dezzo nel tratto inferiore della forra rocciosa posta tra Dezzo di Scalve ed Angolo Terme. In particolare, gran parte delle manifestazioni sorgentizie è ubicata nella parte inferiore della forra della Via Mala, subito a monte del contatto con le formazioni sottostanti al Calcare di Esino, tra le quali il Calcare di Prezzo rappresenta un livello relativamente impermeabile. L'affioramento delle acque sotterranee lungo i fianchi dell'incisione consente al torrente Dezzo di avere un regime naturale meno legato all'andamento delle precipitazioni.

In funzione delle caratteristiche litologiche e strutturali delle unità, nell'ambito della serie stratigrafica del tratto inferiore della valle del Dezzo si riconoscono sostanzialmente tre acquiferi fratturati e carsificati principali sede di circolazione idrica sotterranea.

- un acquifero superiore rappresentato dai calcari massicci e facilmente carsificabili dell'Esino e del Metallifero Bergamasco; questo acquifero è sostenuto alla base dalle unità relativamente meno permeabili rappresentate dalla formazione di Wengen e soprattutto dal Calcare di Prezzo, ma ha sicuramente un collegamento idrogeologico, per fratture o faglie o per contatto tettonico diretto, con l'acquifero inferiore; all'acquifero intermedio possono sommarsi i livelli calcarei della formazione del Gorno, nella sua litozona inferiore; il Gorno tuttavia svolge principalmente un ruolo di acquitardo ed è in grado di sostenere localmente un acquifero più alto, contenuto nella soprastante formazione di Breno alla quale si potrebbero aggiungere,

nella zona dell'altopiano di Borno, in sinistra al Dezzo, anche le evaporiti del S. Giovanni Bianco; sulla sponda destra il S. Giovanni Bianco è invece rappresentato da siltiti e gioca probabilmente il ruolo di acquitrando sostenendo un acquifero ancora più elevato legato alla Dolomia Principale;

- un acquifero inferiore localizzato entro la Carniola di Bovegno, dove circolano le acque più profonde e più mineralizzate alle quali fanno capo le sorgenti minerali di Angolo, e nella parte inferiore del Calcere di Angolo; la presenza di sorgenti sul versante destro della valle del Dezzo, a monte dell'abitato di Angolo, sembra inoltre indicare una suddivisione in acquiferi locali legata all'esistenza ed alla distribuzione dei livelli marnosi all'interno dell'unità, in grado di sostenere parte delle acque di infiltrazione.

L'alimentazione degli acquiferi avviene principalmente per modo diretto a partire dall'infiltrazione dalla superficie nelle zone di affioramento delle unità che li costituiscono, ma si ha anche circolazione di acqua entro fratture o faglie nelle unità relativamente impermeabili, con connessione idrogeologica tra i due.

Si è inoltre accennato all'esistenza di numerose altre sorgenti minori, generalmente non sfruttate (a differenza di quelle di origine carsica), per lo più disposte in fasce altimetriche ben definite, localizzate alla base delle scarpate d'erosione incise dal torrente Dezzo entro i depositi superficiali della conca di Angolo. Esse sono legate agli acquiferi costituiti dai livelli relativamente più permeabili dei depositi stessi, alimentati dalle acque che si infiltrano dalla superficie, e circolano sostenute dai livelli più fini di origine glaciale o lacustre: la venuta a giorno di queste acque è legata proprio alla differenza di permeabilità esistente tra i depositi fluvioglaciali e i sottostanti orizzonti glaciolacustri.

4.2.a. - Sorgenti captate

Le 5 sorgenti che servono l'acquedotto comunale di Angolo sono legate a fenomeni di tipo carsico che interessano il substrato roccioso, prevalentemente di natura carbonatica.

L'ubicazione e la denominazione delle sorgenti captate entro il territorio in esame sono state tratte dalla "Planimetria generale con individuazione rete idrica comunale" (gennaio 1998) della COGEME s.p.a. A titolo di esempio, di seguito sono riportate le analisi chimiche effettuate dalla COGEME in seguito a prelievi effettuati direttamente alle sorgenti.

	<u>Punto di prelievo</u>					<i>Valori guida o valori di concentrazione che è opportuno non superare</i>
	<u>Sorgente FLAMINIA 1</u>	<u>Sorgente FLAMINIA 2</u>	<u>Sorgente LE VALLI</u>	<u>Sorgente POS DE TONE</u>	<u>Sorgente VAL DI SE</u>	
<u>Data prelievo</u>	05/03/1997	05/03/1997	17/09/2002	17/09/2002	17/09/2002	
Conducibilità a 20° (µS/cm)	371	373	326	367	257	-
ph	6.8	6.9	7.76	7.64	8.04	6.0 – 9.5
NO ₃ (mg/l)	5.4	5	6.4	4.6	6.1	50
Cl (mg/l)	20	19	2.0	2.0	1.7	200
Durezza tot. °F	16.8	19.8	17.8	21.7	15.5	-
Residuo fisso a 180°C(mg/l)	240	248	208	247	135	1500

Mg (µg/l)	12.2	11.5	5.7	12.5	12.6	50
Solfati (mg/l)	8.4	9.1	14.5	28.1	12.9	250
NO ₂ (mg/l)	0	0	<0.02	<0.02	<0.02	0.1
Fe (µg/l)	80	90	<20	<20	<20	200
Ca (mg/l)	60	62	58.9	69.6	43.2	-
Coliformi tot./100 ml	0	0	0	0	3	0 (max 5)
Coliformi fecali / 100ml	0	0	0	0	1	0
Enterococchi / 100ml	0	0	0	0	0	0

Si tratta nel complesso di sorgenti legate a circolazione idrica sotterranea relativamente vulnerabile, sia per le modalità di infiltrazione delle acque, in aree ad elevata permeabilità, sia per lo schema di circolazione in condotti che possono consentire velocità di transito relativamente elevate entro rocce caratterizzate da una bassa capacità di scambio che, quindi, non favoriscono l'autodepurazione (in particolare, la durezza e il contenuto in solfati confermano il legame con rocce carbonatiche).

Sorgenti Flaminia

Le due sorgenti che servono l'acquedotto delle frazioni di Mazzunno e Terzano e la sede comunale di Angolo, la "Flaminia 1" e la "Flaminia 2", sono ubicate sulla sinistra idrografica del Torrente Dezzo, e più precisamente sul versante sinistro di un impluvio posto a monte della località Fornaci, in corrispondenza del deciso cambio di direzione del Dezzo. Esse si trovano rispettivamente ad una quota di circa 510 e 520 m, in una fascia localizzata al contatto tra i calcari marnosi del Livinallongo e il soprastante Calcare di Esino. Dalla configurazione d'insieme le due sorgenti sono legate a circolazione sotterranea di acqua entro fratture della roccia, probabilmente ampliate da fenomeni carsici, costituente l'acquifero superiore. L'area di alimentazione è relativamente ampia e sicuramente rappresentata dal settore delle rocce sedimentarie carbonatiche della zona situata idrograficamente a monte delle sorgenti.

Sorgenti della val di Sè

Nella Val di Sè, in destra idrografica del torrente Dezzo, si trovano due sorgenti, "Val di Sè" e "Pos de Tone". La prima, utilizzata dal centro abitato di Angolo, è localizzata ad una quota di circa 660 m, la seconda a 810 m circa: entrambe sono ubicate in corrispondenza della Formazione del Calcare di Angolo e sono legate a circolazione di tipo carsico entro la compagine rocciosa, sostenuta localmente dagli interstrati marnosi.

Sorgente della valle Sessa

Un'ultima sorgente, detta "Le Valli", è localizzata sul versante destro della Valle Sessa, ad una quota di 905 m circa, in prossimità della località Botta. Essa serve l'acquedotto di Anfurro e, come le precedenti, è ubicata in corrispondenza dei calcari della Formazione del Calcare di Angolo ed è legata a circolazione di acque sotterranee entro fratture ampliate da fenomeni di tipo carsico.

Sorgente Lanzoni (acquedotto di Darfo)

Come già accennato nel paragrafo precedente, l'acquifero carsico presente entro le formazioni carbonatiche che costituiscono il versante destro della valle del Dezzo nel suo tratto medio-inferiore è drenato dall'incisione valliva del torrente, il quale, sul fondo, presenta una fascia continua di sorgenti. Tra queste, poco a monte del Km 48 della SP 294 della Val di Scalve (entro il territorio comunale di Angolo), si trova la "Sorgente Lanzoni", le cui acque sono utilizzate dal Comune di Darfo Boario Terme. Essa è ubicata a valle della zona del Giogo della Presolana, particolare che merita un approfondimento a causa della presenza di un'area antropizzata a monte di una captazione ad uso idropotabile.

In funzione caratteristiche litologiche e strutturali e delle evidenze morfologiche, i calcari massicci o stratificati in grossi banchi appartenenti al Calcare di Esino ed al Calcare Metallifero Bergamasco costituiscono la sede principale dell'acquifero sotteso dalla sorgente al quale pervengono non solo le acque che si infiltrano direttamente dalla superficie, ma anche le acque sotterranee che circolano entro le formazioni soprastanti. Per quanto riguarda il settore del Giogo della Presolana, la Formazione di Gorno e la Formazione di S. Giovanni Bianco, relativamente impermeabili ed estesamente presenti nell'area, non favoriscono l'infiltrazione delle acque in profondità, ma lo scorrimento in superficie. Solo nell'estremità orientale, dove affiorano direttamente i calcari della Lingua di Campolungo, si ha al limite la possibilità di un'infiltrazione diretta delle acque superficiali nel substrato roccioso.

Tuttavia, anche se da un punto di vista idrogeologico la presenza delle rocce del San Giovanni Bianco non consente di avere un'infiltrazione diretta dall'area in questione, si ha comunque la possibilità di infiltrazione verso l'acquifero carsico lungo tutte le linee d'impluvio poste a valle del Giogo, dove affiorano le rocce che ne costituiscono la parte non satura. Pertanto, il settore del Giogo della Presolana è sicuramente connesso idrogeologicamente all'acquifero carsico e potrebbe di conseguenza esserlo anche con la sorgente Lanzoni.

4.2.b. - Pozzi privati per uso termale

In relazione all'esistenza di due fonti di acqua minerale, in sinistra idrografica del Torrente Dezzo, all'altezza degli abitati di Angolo e Mazzunno, in corrispondenza della ristretta piana alluvionale presente nel fondovalle, tra il 1962 e il 1973 venne creato il "Parco delle Terme di Angolo". La prima ad essere captata, nel 1953, fu la "Fonte San Silvestro", una falda in pressione caratterizzata da una portata di circa 10 l/s e classificabile dal punto di vista chimico-fisico tra le acque solfato-bicarbonato-alcalino-terrose. Nel 1978, in seguito ad indagini geologiche e alla trivellazione di un pozzo sino ad una profondità di 36 m, vennero captate le acque della "Fonte Nuova", un'altra falda in pressione con una portata di circa 0.17 l/s, classificabile dal punto di vista chimico-fisico (secondo il D.M. 1 febbraio 1983) come "acqua solfato-calcico-magnesiaca".

Anche l'alimentazione delle sorgenti minerali di Angolo (pozzo "San Silvestro" e pozzo "Fonte Nuova") è connessa ad un reticolo di condotti carsici: le acque che si infiltrano in profondità in corrispondenza delle formazioni carbonatiche viaggiano entro condotti carsici, il cui recapito è rappresentato dalle rocce della Carniola di Bovegno, ubicate in corrispondenza del fondovalle o alla base del versante, ma coperte dalla coltre dei depositi superficiali che occupano il tratto inferiore della valle del torrente Dezzo, e quindi non osservabili direttamente in affioramento.

La Carniola di Bovegno è una formazione rocciosa che contiene rocce evaporitiche molto solubili, quali gessi ed anidriti; buona parte della mineralizzazione delle acque delle Terme di Angolo, ed in particolare lo zolfo e il calcio che esse contengono, deriva dalla dissoluzione delle anidriti e dei gessi operata dalle acque sotterranee che, infiltrandosi dalla superficie, circolano in profondità entro le fratture della roccia, sostenute dai sottostanti litotipi meno permeabili del Servino, per poi tornare a giorno nella zona delle Terme. Si tenga comunque presente che le acque di infiltrazione arrivano alla roccia serbatoio già con un certo grado di mineralizzazione, a causa del transito entro le formazioni carbonatiche e i depositi superficiali soprastanti, influenzando in questo modo il loro successivo arricchimento in sali.

Nella seguente tabella sono riportate le differenze ioniche più significative tra le due acque di Angolo Terme (dati tratti da "L'uomo e l'acqua" - "Nascita e sviluppo del termalismo in Valle Camonica" - di Gaetano Rotondo):

	Ca ⁺⁺ (g/l)	HCO ₃ ⁻ (g/l)	SO ₄ ⁻ (g/l)	Mg ⁺⁺ (g/l)	K ⁺ (g/l)	Na ⁺ (g/l)
Fonte San Sivestro	0.2760	0.2346	0.7895	0.0754	0.0011	0.0024
Fonte Nuova	0.4210	0.2108	1.6060	0.1842	0.0022	0.0115

Le analisi mettono in evidenza una maggiore mineralizzazione delle acque del pozzo Fonte Nuova che potrebbe essere legata ad una stratificazione della falda minerale legata ai rapporti esistenti tra i diversi acquiferi.

4.2.c. - Zone di tutela delle opere di captazione delle acque potabili

Nella Carta Idrogeologica sono state rappresentate le zone di alla salvaguardia delle risorse idriche (d.lgs. 11 maggio 1999 n. 152 aggiornato con le modifiche del d.lgs. 18 agosto 2000 n. 258 - e disposizioni regionali in materia: d.g.r. 27 giugno 1996 n. 6/15137 e d.g.r. 10 aprile 2003 n. 7/12693) così come è stato possibile individuarle sulla base delle conoscenze attuali.

Sorgenti

La natura carsica degli acquiferi ai quali fanno capo le sorgenti sfruttate per alimentare l'acquedotto del comune di Angolo Terme impone una gestione del territorio particolarmente attenta alla salvaguardia delle risorse idriche.

In questa sede di studio le zone di salvaguardia delle sorgenti captate (definite in riferimento al d.lgs. n. 152 del 11 maggio 1999 aggiornato dal d. lgs. 18 agosto 2000, n. 258) non sono state definite sulla base del criterio idrogeologico, per il quale si ritiene necessario uno studio idrogeologico specifico, ma ci si è limitati a individuare la *Zona di Rispetto* secondo il criterio geometrico, senza valutare l'estensione della *Zona di Protezione*, salvo esprimere una proposta per la sorgente Lanzoni.

Con il criterio geometrico la Zona di Rispetto, rappresentata nella Carta Idrografica a scala 1:10000, è definita da una porzione di cerchio di raggio 200 m, con centro nel punto di captazione, che si estende idrogeologicamente a

monte dell'opera di presa ed è delimitata verso valle dall'isoipsa passante per la captazione (d.g.r. 27/06/1996 n. 6/15137).

Per quanto riguarda la sorgente Lanzoni, l'esame dell'assetto idrogeologico locale ha messo in evidenza che il settore del Giogo della Presolana è idrogeologicamente connessione con l'acquifero carsico sotteso dalla sorgente e potrebbe di conseguenza essere connesso anche con la sorgente.

In via del tutto precauzionale, ed in accordo con una proposta fatta dallo scrivente nella relazione illustrativa di un'indagine geologica preliminare riguardante la sorgente Lanzoni, in questa sede si è pertanto ritenuto di considerare come Zona di Protezione della sorgente il settore di versante posto idrograficamente a monte della sorgente Lanzoni, comprendente tutta l'area del Giogo e le linee di impluvio poste a valle di esso e della zona del Salto degli Sposi.

Si ritiene inoltre necessario uno studio idrogeologico di approfondimento su tutto il versante destro del tratto inferiore della valle del Dezzo, finalizzato ad individuare l'estensione delle zone di alimentazione dell'acquifero carsico sotteso dalla sorgente Lanzoni ed a definire di conseguenza l'ampiezza delle relative zone di protezione, con particolare riguardo per i bacini idrografici della val Padone e della val Fada..

Pozzi termali

I pozzi delle Terme di Angolo sono pozzi privati e in questa sede per essi non sono state pertanto individuate le aree di salvaguardia. Per la tutela di questi pozzi e dell'acquifero delle acque minerali è stata comunque individuata un'area di attenzione nell'ambito della carta di fattibilità delle azioni di piano. L'area di attenzione è stata definita sulla base delle conoscenze idrogeologiche della zona delle Terme e comprende le zone poste in corrispondenza del fondovalle ed alla base del versante sinistro della valle che possono avere un legame idrogeologico diretto con la falda a pelo libero contenuta nelle alluvioni di fondovalle del fiume Dezzo e che quindi potrebbero avere anche un eventuale legame idrogeologico con l'acquifero delle acque minerali.

4.3. - Sistema idrografico

Il territorio comunale di Angolo Terme coincide per buon parte con il tratto inferiore della valle del torrente Dezzo e solo il versante in cui si trovano le frazioni di Anfurro di Sotto e di Sopra è idrograficamente rivolto direttamente verso l'asse del fiume Oglio.

Di tutti i corsi d'acqua presenti nel territorio di Angolo solo il torrente Dezzo fa parte del reticolo idrografico principale, come individuato dalla d.g.r. 25 gennaio 2002 n. 7/7868: tutti gli altri corsi d'acqua fanno parte del reticolo minore.

Nella Carta Idrogeologica sono stati individuati i principali corsi d'acqua presenti nel territorio comunale di Angolo Terme, e quindi la carta non è esaustiva rispetto al reticolo idrografico minore, distinguendoli in ragione del regime idraulico, valutato sulla base delle osservazioni di campagna e delle testimonianze raccolte. Regime

perenne, sia pure con portate anche fortemente variabili, compete solo ai maggiori corsi d'acqua: val Bassile, val di Fada, e val Padone sul versante destro del Dezzo e val di S. Giovanni, il tratto medio-superiore della val Poia e la valle posta a sud di Prave sul versante sinistro.

4.3.a. - Dinamica morfologica e tendenze evolutive generali

Sulla base dell'esame delle condizioni morfologiche attuali è stato possibile individuare a grandi linee le tendenze evolutive della dinamica morfologica del torrente Dezzo e dei suoi principali affluenti.

La ricerca del riequilibrio della curva di fondo in seguito alla variazione del livello locale dell'erosione di base causato dal ritiro dei ghiacciaio würmiano mantiene elevata la tendenza all'erosione di fondo. Nel settore centrale dell'area in esame, ossia nella conca di Angolo, questa tendenza è favorita dalla presenza di depositi superficiali che, sebbene addensati e consolidati, sono comunque facilmente erodibili. L'attività erosiva è di conseguenza più intensa in questo tratto del torrente Dezzo e nella parte inferiore dei corsi d'acqua che confluiscono in questo settore. Il procedere dell'approfondimento degli alvei comporta necessariamente la rimozione di sostegno al piede delle sponde, accentuando i fenomeni di erosione laterale e le frane per erosione al piede già esistenti o portando alla creazione di nuovi fenomeni erosivi o franosi e coinvolgendo settori attualmente non attivi delle scarpate che delimitano l'incisione degli alvei. L'erosione lineare conseguente all'approfondimento dell'alveo del Dezzo porta infatti ad aumentare la pendenza del tratto inferiore delle sponde che può raggiungere valori eccessivi rispetto alle caratteristiche geotecniche dei terreni presenti e dar luogo ad instabilità delle scarpate con lo sviluppo di di fenomeni franosi o fenomeni erosivi per ruscellamento. Analogamente, l'approfondimento dell'alveo del Dezzo porta ad un abbassamento del livello di riferimento per i corsi d'acqua tributari e quindi accentua i fenomeni di erosione al fondo e di sponda lungo di essi.

Le conseguenze nel breve periodo del procedere dell'erosione al fondo e di sponda sono rappresentate direttamente da potenziali danni ad infrastrutture ed opere esistenti in alveo e lungo le sponde. Le conseguenze sul lungo periodo sono rappresentate da un ampliamento, attraverso erosione e frane, della sezione dell'incisione di fondovalle a spese dei terrazzi morfologici che il torrente ha inciso nei depositi superficiali.

Alla tendenza all'erosione si accompagna localmente la possibilità di fenomeni di esondazione, sebbene le aree potenzialmente interessate siano nel complesso poco estese: tali fenomeni assumono comunque un certo rilievo perchè coinvolgono direttamente zone antropizzate.

4.3.b. - Aree potenzialmente alluvionabili

La tendenza all'erosione di fondo che caratterizza la maggior parte dell'asta del torrente Dezzo e dei suoi principali affluenti fa sì che in genere i corsi d'acqua scorrano in alvei confinati, relativamente incassati rispetto alle zone adiacenti.

La presenza di soglie naturali, impostate in rocce o terreni più resistenti all'erosione, ed in alcuni casi di soglie artificiali, sostenute da briglie o traverse di derivazione, individua localmente delle situazioni morfologiche dove l'erosione è assente o comunque meno intensa e possono prevalere almeno temporaneamente, o sono prevalsi in passato, i fenomeni di sedimentazione con la formazione di piane alluvionali. L'alveo del torrente in questi tratti è in genere definito dalle piene ordinarie e non è quindi in grado di contenere le piene maggiori con la conseguente possibilità di fenomeni di esondazione. Localmente sono presenti tratti di piana alluvionale relativamente ampi oppure dei terrazzi alluvionali che possono essere ancora raggiunti dalle acque di esondazione in occasione delle piene maggiori ed alcuni settori di queste aree, sebbene di pertinenza diretta dei corsi d'acqua, sono state occupate da insediamenti antropici.

Nel corso dei rilievi di campagna le aree potenzialmente alluvionabili lungo il torrente Dezzo e state individuate su base puramente morfologica, in relazione alla posizione ed alle quote relative rispetto all'alveo. In particolare, entro il territorio comunale di Angolo le zone potenzialmente interessate da esondazione corrispondono alla piana di fondovalle recente situata in sponda sinistra del torrente Dezzo, all'altezza del centro abitato di Angolo, dove si trovano l'impianto di imbottigliamento, buona parte del parco e delle strutture ricettive e di cura delle Terme.

4.4. - ASPETTI IDROLOGICI

In questo studio sono stati considerati principalmente gli aspetti relativi alle portate di massima piena dei corsi d'acqua, che hanno un ruolo diretto nella definizione della pericolosità morfologica complessiva.

Per quanto riguarda gli aspetti generali non è stato possibile reperire misure di portata relative al torrente Dezzo ed ai suoi affluenti principali: di conseguenza, le considerazioni espresse di seguito sono state fatte sulla base di una valutazione dell'andamento delle precipitazioni e soprattutto sulle testimonianze raccolte in loco.

Nel complesso, entro il settore compreso nel territorio comunale di Angolo, il torrente Dezzo è un corso d'acqua permanente con portate relativamente variabili nell'arco dell'anno e caratterizzato da un periodo di massimo assoluto coincidente con il momento del disgelo, durante la stagione primaverile. Un periodo di massimo relativo si registra in concomitanza delle precipitazioni autunnali mentre il periodo di minimo assoluto si ha durante la stagione invernale.

Alcuni dei principali corsi d'acqua tributari del Dezzo, ad esempio i torrenti della Val Padone e della Valle di S.Giovanni, hanno invece un regime caratterizzato da una maggiore variabilità e con portate più strettamente legate all'andamento delle precipitazioni meteoriche.

Il regime ordinario del torrente Dezzo è inoltre influenzato dalla presenza di una serie di derivazioni a scopo idroelettrico che sottraggono una parte consistente del deflusso superficiale.

4.4.a. - Valutazione della portata di massima piena dei corsi d'acqua

In questa sede è stata fatta una valutazione della portata del torrente Dezzo e di alcuni affluenti, significativi per i fenomeni di esondazione su conoide in zone urbanizzate o di interesse urbanistico, in riferimento alla massima piena per eventi con tempi di ritorno di 100 e 200 anni da assumere come valori indicativi per verifiche idrauliche di larga massima. In particolare, nel presente paragrafo viene descritta la metodologia di calcolo utilizzata per la valutazione delle portate critiche dei corsi d'acqua in esame.

Le portate di massima piena per il torrente Dezzo sono state calcolate in corrispondenza delle sezioni di confluenza significative presenti lungo il tratto compreso nel territorio di Angolo. I bacini idrografici sottesi dalle sezioni individuate coincidono con i sottobacini in cui è stato suddiviso il bacino del Dezzo in una pubblicazione curata dal Gruppo Edison nel 1953 (*Elaborazione dei dati idrologici del bacino dell'Oglio* - Direzione costruzione impianti idroelettrici del Gruppo Edison), per i quali sono già disponibili alcuni dati geometrici come l'altezza media e la superficie. al fine di valutare le portate medie defluibili lungo il corso del torrente. Per i bacini degli affluenti ci si è attenuti agli aspetti morfometrici desunti dall'esame della cartografia tecnica di base (Carta Tecnica Regionale).

I bacini, le quote delle sezioni di chiusura che li sottendono e la loro posizione sono indicati nel seguente elenco:

<i>Sezione</i>	<i>Quota</i>	<i>Posizione e bacino sotteso</i>
1	480 m	Conoide di Terzano
2	380 m	Canale delle Terme
3	415 m	Conoide di Mazzunno
4	470 m	Canale di Mazzunno
5	390 m	Torrente della Valle di San Giovanni
6	515 m	Re Barzino
7	510 m	Torrente dalla Valle Sessa
8	620 m	Dezzo a valle della confluenza della valle di Palline
9	400 m	Dezzo a valle della confluenza della valle di S. Giovanni
10	210 m	Dezzo alla confluenza nell'Oglio

Per ciascuna di queste sezioni sono state calcolate le massime piene stimate per un tempo di ritorno di 100 e 200 anni.

Portata critica dei corsi d'acqua

Per la stima delle massime piene lungo gli impluvi, sono state effettuate delle valutazioni sulla base delle metodologie disponibili in letteratura, per un tempo di ritorno di 100 e 200 anni. I risultati dell'analisi condotta sono riassunti nei fogli di calcolo riportati in allegato a fine testo mentre nei prossimi paragrafi sono stati descritti brevemente i metodi applicati.

- *Metodo di Giandotti e metodo di Giandotti e Visentini*. Questi metodi sono stati applicati considerando approssimativamente un valore del coefficiente di deflusso pari a 0.6. Nel calcolo della pioggia critica con questi metodi si è tenuto conto della curva di possibilità climatica della stazione di Breno, ricavata dai dati del periodo 1951-1982 nello “Studio delle precipitazioni intense in provincia di Brescia e verifica funzionale della rete pluviometrica esistente” (1984), che in ragione della sua relativa vicinanza può essere assunta in prima approssimazione come rappresentativa per l'area in esame.
- *Metodo della Portata Indice*. Il metodo si basa sulla stima della media della massima portata istantanea annuale e si è fatto riferimento alla pubblicazione “*Valutazione delle portate di piena della Provincia di Brescia*” di B.Bacchi, B.Armanelli, E.Rossini (Università degli Studi di Brescia - Dipartimento di Ingegneria Civile).
- *Metodo Razionale*. Si è utilizzata l'espressione razionale di traduzione degli afflussi meteorici entro il bacino idrografico in deflussi, in riferimento ad uno studio di Bacchi, Armanelli e Rossini del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Brescia nel quale sono stati determinati i valori dei coefficienti delle curve di possibilità climatica di varie stazioni, adottando i valori relativi alla stazione di Breno.
- *Metodo razionale FAO*. Questa metodologia è stata utilizzata solamente per il torrente Dezzo. L'espressione razionale proposta dalla FAO è stata applicata utilizzando come riferimento i parametri delle curve di possibilità pluviometrica che l'Autorità di Bacino del fiume Po ha calcolato per l'area pluviometrica omogenea del corso superiore del fiume Oglio. Gli stessi parametri sono stati utilizzati per i calcoli idrologici eseguiti nell'ambito del “Piano Stralcio per la difesa idrogeologica e della rete idrografica del bacino del fiume Po”. Il coefficiente di deflusso presente nell'espressione della FAO è stato ricavato, per ciascun bacino in esame, sulla base del metodo Curve Number introdotto dal Soil Conservation Service degli Stati Uniti. Il territorio dei bacini in esame è stato pertanto suddiviso in aree riferite a differenti classi di suolo e copertura in funzione della schema relativo alla capacità di assorbimento delle piogge previsto dal metodo. La definizione delle classi è stata fatta sulla base della “Carta Geologica” e della “Carta dei popolamenti vegetali attuali”, alla scala 1:50.000, allegate al “Piano generale di bonifica montana dell'alto bacino del fiume Oglio”.
- *Stima della portata solida*: in riferimento alle caratteristiche morfologiche dei bacini idrografici in esame, si è tenuto conto della possibilità di eventi di piena con elevato trasporto solido stimando la capacità di trasporto della corrente. In particolare, si è utilizzata un'espressione empirica che tiene conto di un incremento della portata liquida secondo un rapporto tra portata con trasporto solido e portata liquida compreso tra 1.13 e 1.24. La valutazione è stata fatta a partire dai valori di portata liquida calcolati con il metodo della portata indice e della formula razionale.

Nella seguente tabella sono riportati in sintesi i risultati dei calcoli effettuati. I dati completi sono riportati negli Allegati 3b e 3c per il torrente Dezzo e negli Allegati 1b e 1c per gli affluenti.

<u>Parametri morfometrici</u>	<u>Sezioni di calcolo</u>
--------------------------------------	----------------------------------

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Superficie (Km ²)	0,65	0,12	0,23	0,07	4,2	0,6	0,3	142,0	163,2	173,1
Lunghezza asta (Km)	1,2	0,8	1,1	0,7	3,3	1,5	1,3	21,2	27,4	32,6
Quota sezione (m)	480	380	415	470	390	515	510	620	400	210
Altezza media (m)	1046	749,6	846,3	679,8	1138,0	1030,5	870,6	1597	1523	1481
Tempo di corrivazione (ore)	0.26	0.17	0.21	0.18	0.60	0.29	0.26	3,18	3,44	3,56

<u>Metodo di calcolo</u>	<u>Massima portata per eventi con tempo di ritorno di 100 anni (m³/s)</u>									
Giandotti	11.90	2.99	4.90	1.67	42.61	10.05	4.79	443	482	499
Giandotti-Visentini	9.90	2.48	4.08	1.39	35.43	8.36	3.98	369	401	415
Metodo razionale FAO	-	-	-	-	-	-	-	351	400	437
Portata indice	6.50	1.91	3.04	1.27	25.40	6.07	3.32	383	425	443
Metodo Razionale	6.59	1.40	2.44	0.75	23.82	5.33	2.36	443	494	515
Portata Indice con trasporto solido	8.06	2.37	3.77	1.57	31.50	7.52	4.12	475	527	550
Metodo Razionale con trasporto solido	8.17	1.74	3.02	0.93	29.57	6.62	2.93	549	612	639

<u>Metodo di calcolo</u>	<u>Massima portata per eventi con tempo di ritorno di 200 anni (m³/s)</u>									
Giandotti	14.6	3.67	6.02	2.05	52.15	12.33	5.87	540	587	607
Giandotti-Visentini	10.85	2.73	4.47	1.53	38.77	9.16	4.37	401	436	451
Metodo razionale FAO	-	-	-	-	-	-	-	407	462	503
Portata indice	7.31	2.15	3.42	1.42	28.59	6.83	3.74	431	478	499
Metodo Razionale	6.83	1.45	2.53	0.77	24.69	5.53	2.45	500	558	582
Portata Indice con trasporto solido	9.07	2.67	4.24	1.77	35.46	8.47	4.63	535	593	619
Metodo Razionale con trasporto solido	8.47	1.80	3.13	0.96	30.62	6.86	3.04	620	692	722

La portata al colmo calcolata con i diversi metodi presenta dei valori relativamente dispersi dovuti alle semplificazioni relative a ciascuno di essi.

In prima approssimazione si ritiene che si possano assumere come rappresentativi i valori di portata liquida stimati sulla base del metodo della Portata Indice, tenendo conto, nel caso di eventi a carattere eccezionale,

anche dell'incremento dovuto trasporto solido.

4.4.b. - Valutazione della magnitudo

La magnitudo corrisponde al volume massimo di materiale mobilizzabile all'interno di un bacino idrografico per l'alimentazione delle colate detritico-fangose durante un singolo evento. Per la valutazione della magnitudo sono state utilizzati dei metodi empirici disponibili in letteratura. Questi metodi propongono delle formule per la stima della magnitudo basate sulle caratteristiche morfometriche del bacino e del conoide, sulle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del bacino e sul grado di dissesto al suo interno.

Le formule utilizzate dai vari metodi per il calcolo della magnitudo sono riportate nell'Allegato 1d; nella seguente tabella sono riportati i valori di magnitudo ottenuti per i vari bacini idrografici.

<u>Metodo di calcolo</u>	<u>Valori di magnitudo per i vari bacini</u>						
	1	2	3	4	5	6	7
Marchi e Tecca (1996)	45409	8505	16051	4830	293930	41342	18102
Rickermann & Zimmerman (1997)	740	14800	7300	3500	10125	44900	42800
Hampel (1977)	425682	2247	55314	20280	272478	83281	28212
Crosta, Ceriani, Frattini & Quattrini (2000)	46056	2889	13864	4751	66961	21485	9684
Bottino, Crivellari & Mandrone (1996)	18817	11772	14063	10047	31744	18329	14545
Takei (1984)	10444	3760	5538	2662	32633	9863	5960
D'Agostino et al. (1996)	32882	7962	7574	2732	59977	26807	12113
	30352	7350	6991	2522	55363	24745	11181
Kronfellner-Kraus (1984-1985)	47797	9478	15901	5045	126533	35830	17707
	22531	4454	7477	2370	60931	16884	8327
Bianco (1999)	29704	8838	9469	4116	69392	28197	13357
	9650	1497	-	-	7894	9240	1808
MEDIA	29364	6725	10423	4258	78614	26838	13919

5. VALUTAZIONE E ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITA' MORFOLOGICA

Le considerazioni relative alla pericolosità dei conoidi alluvionali sono state riprese direttamente dallo studio geologico del maggio 2005, aggiornate solamente per il conoide del torrente della valle della Sessa, sul quale sono stati eseguiti degli interventi successivamente a quella data.

La metodologia d'indagine applicata nel presente studio ha consentito di definire la perimetrazione della pericolosità per le aree prese in esame, in riferimento alle metodologie di analisi proposte dalla Regione Lombardia nelle "Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da frana in Regione Lombardia" (BURL n. 51 del 22 Dicembre 2000).

In particolare le metodologie di analisi sono state applicate per la valutazione delle pericolosità relative a fenomeni di piena o colata lungo i conoidi ed a fenomeni di caduta massi da pareti rocciose in grado di interessare direttamente le zone già urbanizzate o di interesse urbanistico.

5.1 - ANALISI DELLA PROPAGAZIONE DELLE COLATE LUNGO I CONOIDI

In questa sede sono stati considerati i conoidi di fondovalle presenti nella zona di Angolo, sui quali o nelle adiacenze dei quali, si trovano gli abitati di Angolo, Mazzunno e Terzano:

- 1) impluvio di Terzano (impluvio posto ad est dell'abitato di Terzano, a monte del campo sportivo);
- 2) impluvio delle Terme (posto a monte delle Terme di Angolo);
- 3) valle di Mazzunno (impluvio posto a monte del settore centrale del nucleo storico di Mazzunno);
- 4) impluvio di Mazzunno (posto a monte del settore ovest del nucleo storico di Mazzunno);
- 5) valle di S. Giovanni (posta ad ovest di Mazzunno);
- 6) torrente Re Barzino (situato a monte del nucleo storico di Angolo);
- 7) valle Sessa (impluvio posto a monte del settore sud-est dell'abitato di Angolo).

Oltre che con i fenomeni di esondazione, la pericolosità geomorfologica delle aree di conoide è da mettere in relazione con la possibilità che si verifichino fenomeni di transito e deposizione di colate detritico-fangose da parte dei torrenti.

La perimetrazione della pericolosità nelle aree di conoide è stata fatta principalmente su base morfologica, integrando queste osservazioni con l'analisi della propagazione delle colate secondo il "Metodo semi-empirico per la mappatura del deposito di materiale solido da colata detritica in area di conoide" proposto da T. Takahashi.

Il risultato del confronto e dell'integrazione tra le valutazioni di carattere morfologico e l'analisi della propagazione delle colate è stato tradotto in termini di pericolosità in riferimento alle 5 classi di pericolosità definite nell'Allegato 2 alla d.g.r. 29 ottobre 2001 n. 7/6645.

5.1.a. Pericolosità su base morfologica

La valutazione della pericolosità su base morfologica è stata fatta in riferimento alle indicazioni contenute nella normativa ed in particolare sono stati presi in considerazione i seguenti elementi, oltre alla stima della portata liquida e della magnitudo dei fenomeni di colata fatta nei paragrafi precedenti:

- situazione geologica e geomorfologica del bacino idrografico;
- grado di incisione del canale principale sul conoide;

- presenza di punti critici rappresentati da sezioni ristrette, attraversamenti, anse, opere di attraversamento o trasversali che possono provocare o favorire i fenomeni di esondazione;
- variazioni di pendenza che possono favorire fenomeni di deposizione;
- presenza di zone che possono modificare o deviare il deflusso.

5.1.b. - Metodo semi-empirico per la mappatura del deposito di materiale solido da colata detritica

Il metodo è stato applicato tenendo conto dei valori di portata liquida e magnitudo determinati precedentemente e consente di stimare la distanza di arresto delle colate a partire da una diminuzione di pendenza dell'alveo posta in corrispondenza o in prossimità dell'apice del conoide. A valle della diminuzione della pendenza è stata inoltre verificata la possibilità di ostruzione parziale delle sezioni d'alveo da parte del materiale trasportato e depositato dalle colate e la conseguente possibilità di esondazione. I calcoli relativi all'applicazione del metodo sono esposti nell'Allegato 1e, mentre nei paragrafi successivi sono esposti i passi di applicazione del metodo.

o *Determinazione della portata di acqua chiara di progetto (Ql).*

Per il valore di acqua chiara è stata utilizzata la portata liquida determinata per un tempo di ritorno pari a 200 anni, secondo la metodologia illustrata nel paragrafo 5.4.a.

o *Determinazione della portata di piena della miscela liquido-solido (Qm).*

In seguito dell'evento piovoso estremo che determina lo sviluppo della piena al colmo, lo scorrimento della portata di acqua chiara sull'ammasso granulare completamente saturo, per l'aumento dell'azione di trascinarsi della corrente di piena fino al superamento della resistenza dello strato superficiale del letto, origina una colata detritica; la portata totale Q_m può essere stimata con la seguente formula:

$$Q_m = \frac{C^*}{C^* - C_u} \times Q_l \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

dove

- | | |
|--------------|---|
| $C^* = 0,65$ | concentrazione volumetrica di massimo impaccamento del materiale ($C^*=1-n$ dove n è la porosità) |
| $C_u = 0,59$ | Concentrazione volumetrica di equilibrio dei solidi (fini e grossolani) trasportati dalla corrente in moto uniforme. Nella pratica è stato supposta pari a $0.9 \times C^*$. |

o *Calcolo del volume dei sedimenti trasportati: "Magnitudo" (Wm).*

I criteri per la determinazione e i valori di magnitudo sono esposti nel paragrafo 4.2.c.

o *La propagazione delle colate e il calcolo di primo tentativo dell'estensione longitudinale del deposito (X_L).*

Durante un singolo evento la deposizione non interessa l'intera superficie della conoide alluvionale, ma in relazione alle morfologie dei siti, si presenta in posizione distale o prossimale con lobi laterali di varie dimensioni che possono raggiungere quelle dell'incisione entro la quale avviene la deposizione. Non è esclusa inoltre come, in relazione alle levate pendenze dell'asta a monte della conoide, le colate detritiche si depositino come lobi aventi larghezze paragonabili a quelle dell'alveo a monte.

Sulla base della definizione delle condizioni al contorno e delle caratteristiche del materiale granulare preso in carico dalla corrente, approssimando la densità del fluido interstiziale a quella della sola acqua, viene definita la lunghezza massima del deposito sul conoide, attraverso l'applicazione della formula approssimata proposta da Takahashi e Yoshida (1979), richiamata in Takahashi (1991) e generalizzata in Ghilardi (1999). La distanza d'arresto viene definita sulla base di considerazioni di equilibrio dinamico del tratto di corrente coincidente con il fronte del debris flow, dove:

$$X_L = \frac{V^2}{G}$$

$$G = \left(\frac{c_u g (\rho_s - \rho_l) \cos \theta_d \tan \phi}{c_u (\rho_s - \rho_l) + \rho_l} \right) - g \sin \theta_d$$

$$V = \left(u_u + \frac{g^* h_u}{2^* u_u} \cos \theta_u \right) \cos(\theta_u - \theta_d)$$

Nelle relazioni precedenti compaiono: $U_u = K^{\frac{2}{5}} \left(\frac{Q_m}{B_u} \right)^{\frac{3}{5}}$

velocità media della corrente di moto uniforme nel tratto di alveo a monte del cambio di pendenza:
 spessore della corrente a monte del cambio di pendenza

$$h_u = \left(\frac{Q_m}{KB_u} \right)^{\frac{2}{5}}$$

La costante K è stata dedotta dall'analisi dei processi di stony debris flow, nell'ipotesi che sia trascurabile lo sforzo interstiziale rispetto allo sforzo intergranulare e siano costanti sulla sezioni i valori di concentrazione c e l'angolo di attrito dinamico; ulteriore ipotesi introdotta dal metodo semplificato è l'attribuzione del valore dell'angolo di attrito dinamico stabilito pari a quello statico:

$$K = \frac{2}{5d} \left(\frac{g^* \sin \theta_u}{a^* \sin \phi} \left(c_u + (1 - c_u) \frac{\rho_l}{\rho_s} \right) \right)^{\frac{1}{2}} \left(\left(\frac{c^*}{c_u} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right)$$

o *Calcolo della pendenza della superficie del deposito (ω).*

Quando il materiale trasportato da una corrente detritica si deposita a valle del cambio di pendenza lo scheletro si compatta e l'acqua in eccesso espulsa dai pori defluisce sulla superficie del deposito; la metodologia proposta prevede due condizioni limite definite sulla base della presenza di un alveo inciso lungo il conoide oppure meno. Nel primo caso la colata detritica s'incanala lungo l'alveo, mantenendo nella propagazione dimensioni simili a quelle del canale stesso; nel secondo caso, il materiale detritico si distribuisce sul conoide in un'area a forma a di ventaglio. Nel nostro caso, in relazione alle condizioni morfologiche del conoide, è stata considerata solamente la prima ipotesi.

Considerazioni di natura statica consentono di definire l'inclinazione della superficie del deposito detritico (ω) secondo la seguente espressione:

$$\tan \omega = \frac{c^* (\rho_s - \rho_l)}{c^* (\rho_s - \rho_l) + \rho_l} \tan \phi$$

Come indicato nella documentazione consultata, nel caso in cui $\omega < \theta_d$, nel procedere dei calcoli è stato assunto il valore $\omega = 0.5(\theta_d + \theta_u)$.

o *Determinazione dell'area di accumulo*

Per la definizione delle aree di accumulo delle colate detritiche è stata assunta come generale, viste le condizioni morfologiche al contorno, l'ipotesi per la quale il deposito avviene in un canale rettangolare largo B_d . Operando a favore della sicurezza, è stato trascurato il volume che può arrestarsi a monte dell'apice del conoide e pertanto il volume accumulato (m^3) risulta pari a:

$$W_d = \frac{1}{2} X_L^2 B_d (\tan \omega - \tan \theta_d)$$

Il valore dedotto dalla precedente espressione è stato confrontato con il volume W_r derivante dal debris flow, assumendo prudenzialmente che la miscela depositata abbia concentrazione C_u :

$$W_r = \frac{W_m}{C_u}$$

Per la definizione di L (lunghezza del deposito) si è proceduto per tentativi sino all'ottenimento di $W_d \geq W_r$.

5.1.c. - Classi di pericolosità nelle aree di conoide

La perimetrazione della pericolosità è stata rappresentata alla scala 1:2.000 sulla *Carta di Sintesi* (Tavola 5).

Sono stati considerati 5 gradi di pericolosità, secondo la classificazione individuata nelle "Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da frana nei "siti a rischio" in adempimento alla legge 267/98".

H5	CLASSE V	Pericolosità molto alta	<i>Comprende l'alveo attuale con le sue pertinenze ed eventuali paleoalvei riattivabili in caso di piena ed eccezionalmente porzioni di conoide.</i>
H4	CLASSE IV	Pericolosità Alta	<i>Area con <u>alta probabilità</u> di essere interessata da fenomeni di erosioni di sponda trasporto in massa e/o di trasporto solido con deposizione di ingenti quantità di materiale solido e con danneggiamento di opere e manufatti.</i>
H3	CLASSE III	Pericolosità Media	<i>Area interessata in passato da eventi alluvionali e da erosioni di sponda documentati su basi storiche. Area con <u>moderata probabilità</u> di essere esposta a fenomeni alluvionali (esondazione). In particolare in esse si possono avere deflussi con altezze idriche ridotte (massimo 20-30 cm) e trasporto di materiale sabbioso ghiaioso</i>
H2	CLASSE II	Pericolosità Bassa	<i>Area mai interessata nel passato da fenomeni alluvionali documentati su base storica o area protetta da opere di difesa idraulica ritenute idonee anche in caso di eventi estremi con basse probabilità di essere interessate da fenomeni di dissesto.</i>
H1	CLASSE I	Pericolosità Molto Bassa	<i>Area che per caratteristiche morfologiche ha basse o nulle probabilità di essere interessata dai fenomeni di dissesto</i>

5.1.d. - Condizioni di pericolosità nelle aree di conoide

5.1.d.1. - Conoide della valle di Terzano.

L'impluvio che decorre poco ad est dell'abitato di Terzano forma, al raccordo tra il versante e l'antico fondovalle corrispondente al terrazzo morfologico di Terzano, un conoide relativamente ampio ora in buona parte inattivo e solcato centralmente da un canale di erosione che ha intaccato, oltre ai depositi di conoide, anche i depositi fluvioglaciali che costituiscono il terrazzo. Il conoide attuale è sostanzialmente compreso all'interno del canale abbandonato.

Attualmente le condizioni morfologiche sono favorevoli al verificarsi di fenomeni di colata principalmente per evacuazione del materiale detritico che si accumula lungo l'impluvio a causa della degradazione delle pareti rocciose che ne costituiscono i fianchi. Dato il carattere temporaneo del corso d'acqua che scorre lungo l'impluvio e la permeabilità dei depositi nel settore medio ed inferiore manca l'alveo, in quanto le acque tendono in genere ad infiltrarsi nel terreno già nel settore apicale. In corrispondenza dell'apice, su una soglia rocciosa, è presente una piccola briglia selettiva in grado di trattenere materiale per un volume dell'ordine di una decina di metri cubi. A valle della briglia, nel settore superiore del conoide, l'alveo è poco inciso e posto a ridosso di una mulattiera che da accesso ai fondi. circa 50 m a valle della briglia l'alveo termina in una vasca a fondo aperto, del volume di circa 5 m³, che favorisce l'infiltrazione delle acque nel terreno: più a valle non si ha più un alveo definito, ma prati e nella zona distale un campo sportivo.

In caso di piena con forte trasporto solido o di colata parte della frazione fluida potrebbe incanalarsi lungo la mulattiera e raggiungere l'abitato, ma il grosso della piena si dirige verso valle secondo la linea di massima pendenza arrestandosi al massimo in corrispondenza del campo sportivo posto nel settore distale che determina una brusca diminuzione della pendenza; a valle del campo sportivo si possono propagare solo le frazioni fluide. La colata si propaga comunque all'interno del canale di erosione inattivo.

Le condizioni di attività recente, almeno dal secondo dopoguerra in poi, sono evidenti solo nel settore apicale del conoide, poco a valle della vasca a fondo aperto. La valutazione fatta con il metodo di Takahashi concorda sostanzialmente con le evidenze morfologiche evidenziando la possibilità di un arresto in posizione intermedia tra la vasca ed il campo sportivo. Su base morfologica la fascia di maggiore pericolosità è stata protratta fino al campo sportivo, per tutto il settore centrale del conoide, mentre le zone poste a valle del campo sportivo e nei settori laterali del conoide sono state assegnate alle classi inferiori, dalla media alla bassa.

5.1.d.2. - Conoide dell'impluvio posto a monte delle Terme di Angolo.

La linea d'impluvio che decorre lungo il settore di versante posto a monte del settore est del Parco delle Terme di Angolo forma un piccolo conoide relativamente acclive, avente una morfologia complessivamente poco evidente sia per motivi naturali, perchè i fianchi dell'impluvio si ampliano leggermente come scarpate di degradazione

impostate nei depositi glaciali e fluvioglaciali, sia per motivi antropici, in quanto è stato recentemente realizzato un tratto di strada che decorre trasversalmente al settore intermedio del conoide.

L'impluvio ha carattere temporaneo e mancava di un alveo in corrispondenza della piana posta esternamente al conoide: recentemente, con la realizzazione della strada nel settore intermedio del conoide, le acque provenienti dall'impluvio sono state raccolte, a partire da una vasca di sedimentazione, della capacità dell'ordine di 6 m^3 , e convogliate nella rete di raccolta delle acque meteoriche.

L'impluvio può essere soggetto a piene con forte trasporto solido od a colate principalmente a causa dei fenomeni di erosione incanalata che interessano la coltre dei depositi detritico-colluviali nel settore di versante posto subito a monte del conoide, dove l'alveo è costituito da un solco in erosione attiva. La vasca di sedimentazione ha una capacità di raccolta insufficiente rispetto ad eventuali fenomeni di colata e, su base morfologica, si ha pertanto possibilità di espansione sulla sede stradale e da questa, con energia minore, nelle zone situate a valle.

La situazione topografica attuale, dopo la realizzazione della strada che determina una brusca diminuzione di pendenza ed interrompe localmente il flusso, è piuttosto complessa da modellare con il metodo di Takahashi: in ogni caso si rileva la possibilità di espansione delle colate fino alla base del conoide.

I settori sinistro e centrale del conoide, fino a tutto la parte distale, sono stati quindi assegnati alla classe di pericolosità alta (H4), mentre la fascia di transizione alla piana di fondovalle è stata assegnata alla classe di pericolosità media (H3).

Si sottolinea in questa sede la necessità di un intervento di sistemazione del tratto inferiore dell'impluvio per contenere i fenomeni erosivi e la possibilità di innesco di colate, che rappresentano un pericolo potenziale anche per la strada di recente realizzazione.

5.1.d.3. - Conoide di Mazzunno

La linea d'impluvio che decorre lungo il settore di versante posto a monte dell'abitato di Mazzunno forma un piccolo conoide. L'impluvio ha regime temporaneo e può essere soggetto a piene con elevato trasporto solido o da colate sia per fenomeni di erosione incanalata o frane per scivolamento nel tratto inferiore del bacino sia per evacuazione del materiale detritico presente lungo la parte superiore del bacino. All'apice del conoide l'alveo presenta un breve tratto pianeggiante, sostenuto dal muro di valle di una mulattiera, che consente la sedimentazione di parte del materiale in carico. A valle della mulattiera l'alveo è stato incanalato con sezione rettangolare di circa 1 m^2 mentre nel settore distale il canale si interrompe in corrispondenza del lato di monte della piazza antistante la chiesa e l'alveo viene intubato a partire da una griglia, con possibilità di espandimento nella piazza dell'eventuale materiale in carico.

La valutazione fatta con il metodo di Takahashi concorda sostanzialmente con le evidenze morfologiche con distanze d'arresto paragonabili alla posizione della griglia per cui colate o piene, sia pure con la frazione fluida e trasporto solido contenuto, sono in grado raggiungere la zona della piazza. Il settore centrale del conoide nella zona apicale e media ed una fascia posta a ridosso dell'alveo fino alla piazza sono stati quindi assegnati alle classi di pericolosità maggiori, alta e molto alta, mentre la piazza e le costruzioni che la delimitano sono state assegnate alla classe media (H3).

5.1.d.4. - Conoide dell'impluvio posto a ovest di Mazzunno

La linea d'impluvio che decorre lungo il settore di versante posto a monte del settore ovest dell'abitato di Mazzunno forma un piccolo conoide piuttosto acclive. L'impluvio ha carattere marcatamente temporaneo, percorso da acque solo in stretta concomitanza delle precipitazioni maggiori: l'acqua tende inoltre ad infiltrarsi rapidamente nel terreno e già a partire dal settore apicale del conoide manca un alveo evidente.

In corrispondenza del conoide si individua con difficoltà la presenza di piccoli lobi di colata di forma allungata di età relativamente recente, data la mancanza locale, soprattutto nel settore apicale, di un suolo ben sviluppato. I depositi di colata sono costituiti in superficie da ghiaia con pochi ciottoli e matrice sabbioso-limosa apprezzabile; i clasti sono rappresentati quasi esclusivamente da frammenti di calcare derivanti dalla litozona a strati sottili del Calcare di Angolo. L'evidenza morfologica nel settore apicale è di una relativa tendenza all'erosione. Il bacino a monte ha una forma stretta e allungata secondo la linea di massima pendenza; l'incisione è ripida, impostata in per buona parte in roccia, soprattutto nel settore superiore del bacino, con possibilità di evacuazione del materiale detritico che vi si accumula per degradazione locale dei fianchi, e impostata a tratti in depositi detritici o colluviali nel settore inferiore, con possibilità di erosione ed innesco di piccoli fenomeni franosi.

Nel complesso sono possibili fenomeni di piena con trasporto solido o fenomeni di colata. Da un punto di vista morfologico questi fenomeni possono interessare la fascia centrale del conoide e raggiungere la strada che collega Mazzunno a Dazze, posta nel settore distale del conoide. Al limite le frazioni fluide possono espandersi anche a valle della strada, che però è limitata a valle da un muro di confine alto circa 1.2 m. La morfologia del conoide è relativamente complessa, peraltro non ben rappresentata sulla base topografica, con una leggera variazione di pendenza lungo l'impluvio, blande variazioni di pendenza tra impluvio e conoide e una diminuzione nella zona distale, in corrispondenza della strada Mazzunno-Dazze: questa situazione rende difficile la modellazione con il metodo di Takahashi. In ogni caso si rileva la possibilità di espansione delle colate fino alla zona distale del conoide, confermando le valutazioni fatte su base puramente morfologica.

E' stato quindi assegnato alle classi di pericolosità maggiori l'intero conoide fino alla strada Mazzunno-Dazze, mentre la strada e le zone a valle di essa sono state assegnate alla classe inferiori a partire dalla media (H3).

5.1.d.5. - Conoide della Valle di S. Giovanni

Il torrente della valle di S. Giovanni è caratterizzato da un ampio conoide antico, la cui superficie si raccorda alla quota dei terrazzi morfologici di Mazzunno e Angolo, mentre il conoide attuale è una forma relativamente piccola posta al termine del tratto di alveo che il torrente ha inciso nel conoide antico.

Il settore medio-distale del conoide attuale, in sponda destra, è occupato in buona parte dalla centrale idroelettrica di Mazzunno. Nel tratto del conoide attuale il torrente è stato incanalato con fondo e sponde rivestite in conci di pietra, a partire dalla zona apicale, dove è presente una briglia che sottende una vasca di sedimentazione relativamente ampia, ma che, in caso di forte trasporto solido o colata, potrebbe consentire la fuoriuscita delle acque lateralmente, soprattutto in destra, con esondazione nella zona della centrale.

Un'altro punto critico, situato però un poco più a monte del conoide attuale, lungo il tratto inciso nel conoide antico è rappresentato dalla sezione ristretta dell'attraversamento della strada Mazzunno-Dazze.

Il torrente ha un regime perenne relativamente al tratto medio e superiore del bacino mentre in corrispondenza del conoide antico, dove il fondo è impostato in depositi permeabili le acque tendono facilmente ad infiltrarsi in profondità e si possono avere periodi senza deflusso superficiale.

Nelle attuali condizioni morfologiche del bacino idrografico e dell'alveo del torrente, fenomeni di piena con trasporto solido consistente o fenomeni di colata possono ancora interessare la zona del conoide, alimentati da erosione o eventi franosi nella parte superiore del bacino o da erosione lungo il tratto di alveo inciso nel conoide antico, dove sono presenti delle briglie in buona parte lesionate.

La morfologia del tratto inferiore del torrente è piuttosto articolata, con variazioni di pendenza che possono portare localmente ad episodi di sedimentazione già a monte del conoide attuale. La modellazione con il metodo di Takahashi risulta difficoltosa e comunque conferma la possibilità che venga interessata buona parte del conoide, comprendendo la zona della centrale idroelettrica, in caso di esondazione a partire dalla zona della vasca di sedimentazione posta nel settore apicale.

Quasi tutta l'area del conoide attuale è stata quindi assegnata alla classi di pericolosità maggiori.

5.1.d.6. - Conoide del torrente Re Barzino.

La situazione del tratto inferiore del torrente Re Barzino è piuttosto articolata in ragione dell'evoluzione morfologica della zona di Angolo. Il torrente forma infatti due conoidi: uno posto al raccordo tra il versante roccioso ed i terrazzi morfologici della zona di Angolo, di età recente ed attuale, attivo sia in passato, con il livello di base locale corrispondenza alla quota dell'abitato di Angolo, sia attualmente, ed un altro conoide posto sul fondovalle, alla confluenza nel Dezzo, da considerare sostanzialmente inattivo. Nel tratto compreso tra i due conoidi l'alveo del torrente è stato infatti intubato ed il trasporto solido verso il conoide inferiore, che risulta in erosione, è sostanzialmente trascurabile.

L'abbassamento locale dell'erosione conseguente al ritiro del ghiacciaio ha provocato l'approfondimento del fondo del torrente per cui l'alveo si trova ora piuttosto inciso in tutto il settore apicale e intermedio del conoide superiore. Nel settore distale del conoide superiore l'alveo è meno inciso e subito a monte dell'abitato di Angolo il corso d'acqua è intubato a partire da una piccola vasca di sedimentazione, della capacità di pochi m³. In tutto il tratto del conoide superiore l'alveo del torrente è stato sistemato con briglie e tratti di fondo rivestito per contenere i fenomeni erosivi; nel settore apicale si trovano anche delle briglie in gabbioni realizzate per favorire la sedimentazione del materiale in carico, creando una zona di deposito della capacità di alcune centinaia di m³.

Il torrente ha un regime perenne relativamente al tratto posto monte del conoide, dove invece le acque tendono ad infiltrarsi in profondità e si possono avere periodi senza deflusso superficiale.

Nelle condizioni attuali il torrente Re Barzino può essere soggetto a fenomeni di piena con elevato trasporto solido od a fenomeni di colata in conseguenza di forti piogge e fenomeni franosi od erosivi nel tratto intermedio del bacino o di evacuazione del materiale detritico nel tratto superiore. La diminuzione di pendenza dell'alveo in corrispondenza dell'apice del conoide superiore porta alla deposizione del materiale in carico lungo il tratto di

alveo posto in corrispondenza del conoide stesso: la deposizione è inoltre favorita dalla presenza di numerose briglie che riducono fortemente la pendenza del fondo; il materiale ancora in carico nella parte distale del conoide superiore può portare all'intasamento della vasca di sedimentazione e provocare l'esondazione del torrente con incanalamento delle acque lungo le strade esistenti.

La modellazione con il metodo di Takahashi mette in evidenza la deposizione di eventuali colate lungo il tratto di alveo posto in corrispondenza del conoide, con una distanza d'arresto, a partire dalla zona apicale, che si approssima al settore distale ed al punto in cui il torrente viene intubato. E' quindi possibile l'intasamento della vasca e l'esondazione, sia pure con le frazioni più fluide o comunque con una frazione ridotta del trasporto solido, per cui le classi di pericolosità maggiore, alta e molto alta, sono state assegnate all'alveo ed alle fasce adiacenti mentre alle zone situate a valle della vasca è stata assegnata una pericolosità non superiore alla media (H3).

Nelle condizioni attuali il torrente Re Barzino può essere soggetto a fenomeni di piena con elevato trasporto solido od a fenomeni di colata in conseguenza di forti piogge e fenomeni franosi od erosivi nel tratto intermedio del bacino o di evacuazione del materiale detritico nel tratto superiore. La diminuzione di pendenza dell'alveo in corrispondenza dell'apice del conoide superiore porta alla deposizione del materiale in carico lungo il tratto di alveo posto in corrispondenza del conoide stesso: la deposizione è inoltre favorita dalla presenza di numerose briglie che riducono fortemente la pendenza del fondo; il materiale ancora in carico nella parte distale del conoide superiore può portare all'intasamento della vasca di sedimentazione e provocare l'esondazione del torrente con incanalamento delle acque lungo le strade esistenti.

5.1.d.7. - Conoide dell'impiuvio situato ad est di Angolo (valle Sessa)

Il torrente della valle Sessa forma un conoide alluvionale nella zona posta al raccordo tra il versante e la zona dei terrazzi morfologici di Angolo. Il conoide è relativamente inciso nel settore medio-superiore, dove è attraversato dalla strada Angolo-Anfurro con un tombotto di sezione relativamente ampia; nella parte intermedia il conoide è attraversato ancora una volta dalla strada Angolo-Anfurro, con un tubo di sezione relativamente piccola; a valle di questo attraversamento l'alveo è poco inciso, e la superficie del conoide presenta tracce di canali recenti e lobi di colata poco rilevati. Nella zona distale il conoide è attraversato da una strada, via Baccoli, in corrispondenza della quale l'alveo viene intubato e collegato al tratto coperto del Re Barzino.

Il corso d'acqua ha regime temporaneo ed in genere le acque si infiltrano completamente già nel settore apicale del conoide. Il corso d'acqua può essere interessato da fenomeni di piena con elevato trasporto solido od a fenomeni di colata in conseguenza di forti piogge ed innesco di fenomeni franosi od erosivi nel tratto medio e superiore del bacino o di evacuazione del materiale detritico presente localmente nel tratto inferiore. La brusca diminuzione di pendenza dell'alveo in corrispondenza dell'apice del conoide porta alla deposizione di buona parte del materiale in carico nel settore apicale, già a monte dell'attraversamento più alto della strada Angolo-Anfurro.

A partire da questo attraversamento la pendenza del conoide aumenta di un poco e verso valle le piene o le frazioni residue delle colate tendono a rimanere incanalate nell'alveo o, al limite a dare esondazione in sinistra, mentre in corrispondenza del secondo attraversamento della strada Angolo-Mazzunno, dove la sezione di deflusso è insignificante, invadono la sede stradale: verso valle tendono a scorrere principalmente nel solco

posto in asse al conoide, con possibilità di forte di forte esondazione o divagazione in destra o sinistra, fino a raggiungere la sottostante via Baccoli, subito a monte della quale è stata realizzata recentemente, in seguito ad un piccolo evento di colata nel luglio 2008, una vasca di sedimentazione della capacità di circa 60 m³, in grado di contenere i fenomeni di piena o di colata minori, come l'evento del 2008, e di costituire un ostacolo alla propagazione di eventi minori, rallentandone la velocità e favorendo la deposizione del materiale in carico in corrispondenza della sede stradale di via Baccoli a partire dalla quale le acque di esondazione o le frazioni fluide delle colate possono ancora scorrere verso valle seguendo le strade e la zona urbanizzata sottostanti, dove l'intensità dei fenomeni sarebbe però attenuata dalla presenza di ostacoli (abitazioni e muri), dalla dispersione laterale e da locali diminuzioni di pendenza legate a terrazzamenti artificiali.

La modellazione con il metodo di Takahashi, per quanto problematica, perchè la morfologia è piuttosto articolata e la pendenza del conoide varia già a partire dal settore apicale a quello intermedio e presenta locali interruzioni in corrispondenza degli attraversamenti stradali, conferma la possibilità di espansione delle piene o delle colate fino alla zona urbanizzata.

E' stata quindi assegnata alle classi di pericolosità maggiore la fascia centrale del conoide fino a comprendere la sede stradale di via Baccoli mentre esternamente a questa fascia e per un buon tratto anche a valle di essa le aree sono state assegnate alla classe di pericolosità media (H3).

5.1.e. - Vincoli e prescrizioni connessi al grado di pericolosità per le aree di conoide

Le indicazioni contenute nella normativa di riferimento, ed in particolare nella d.g.r. n. 7/7365 del 11/12/2001, definiscono la corrispondenza tra le classi di pericolosità individuate in questo studio e:

- classificazione delle aree interessate da dissesto idrogeologico (cioè delle aree soggette a rischio idrogeologico, perimetrare secondo la legenda della cartografia del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico - PAI - redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po)
- classi di fattibilità geologica per le azioni di piano,

secondo il seguente schema:

Classi di pericolosità	Classi di fattibilità geologica per le azione di piano	Classificazione delle aree interessate da dissesto idrogeologico
<i>(Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da frana in adempimento alla L. 267/98)</i>	<i>(criteri ed indirizzi relativi alla componente geologica nella pianificazione comunale secondo quanto disposto dall'art. 3 della L.R. 24 novembre 1997, n. 41)</i>	<i>(art. 9 delle Norme di Attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico - PAI)</i>
H5	4	Ca
H4	4	Cp
H3	3	Cn
H2	2	Cn
H1	1	Cn

In riferimento alla corrispondenza tra classi di pericolosità e classificazione delle aree in dissesto si ricorda che per le aree assegnate alla classe di pericolosità **H5** valgono le indicazioni ed i vincoli individuati dalle Norme di Attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico riguardanti le aree classificate come **Ca**.

Per le aree assegnate alla classe di pericolosità **H4** valgono le indicazioni ed i vincoli individuati per le aree classificate **Cp**.

Per le aree assegnate alla classe di pericolosità **H3**, **H2** ed **H1**, corrispondenti alla classe **Cn**, in accordo con le indicazioni dell'art. 9, comma 9 delle Norme di Attuazione del P.A.I., sono state definite alcune prescrizioni sulle modalità di intervento, in riferimento alle condizioni di pericolosità individuate nello studio condotto.

5.1.e.1. - Aree ricadenti in classe Ca (classe H5 di pericolosità)

Per queste aree valgono le indicazioni ed i vincoli individuati dalle Norme di Attuazione del PAI contenute nel Comma 7 dell'Art. 9 e riportate di seguito.

- *Art. 9 - Comma 7.*

Fatto salvo quanto previsto dall'art. 3 ter del D.L. 12 ottobre 2000, n. 279, convertito in L. 11 dicembre 2000, n. 365, nelle aree Ca sono esclusivamente consentiti:

- gli interventi di demolizione senza ricostruzione;
- gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo degli edifici, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art. 31 della L. 5 agosto 1978, n. 457;
- gli interventi volti a mitigare la vulnerabilità degli edifici e degli impianti esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità, senza aumenti di superficie e di volume, senza cambiamenti di destinazione d'uso che comportino aumento del carico insediativo;
- gli interventi necessari per la manutenzione ordinaria e straordinaria di opere pubbliche e di interesse pubblico e di restauro e di risanamento conservativo di beni di interesse culturale, compatibili con la normativa di tutela;
- i cambiamenti delle destinazioni colturali, purchè non interessanti una fascia di ampiezza di 4 m dal ciglio della sponda ai sensi del R.D. 523/1904;
- gli interventi volti alla ricostituzione degli equilibri naturali alterati e alla eliminazione, per quanto possibile, dei fattori incompatibili di interferenza antropica;
- le opere di difesa, di sistemazione idraulica e di monitoraggio dei fenomeni;
- la ristrutturazione e la realizzazione di infrastrutture lineari ed a rete riferite a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili, previo studio di compatibilità dell'intervento con lo stato di dissesto validato dall'Autorità competente;
- l'ampliamento o la ristrutturazione degli impianti di trattamento delle acque reflue.

5.1.e.2. - Aree ricadenti in classe Cp (classe H4 di pericolosità)

Per queste aree valgono le indicazioni ed i vincoli individuate dalle Norme di Attuazione del PAI contenute nel Comma 8 dell'Art. 9 e riportate di seguito.

- *Art. 9 - Comma 8.*

Nelle aree Cp, oltre agli interventi di cui al precedente comma 7 (vedi Ca), sono consentiti:

- gli interventi di ampliamento degli edifici esistenti per adeguamento igienico-funzionale;
- la realizzazione di nuovi impianti di trattamento delle acque reflue.

5.1.e.2. - Aree ricadenti in classe Cn (classi H3, H2 e H1 di pericolosità)

Le condizioni di pericolosità, di grado decrescente da H3 ad H1, riscontrate per queste aree in occasione degli eventi considerati nell'analisi morfologica non sono tali da non consentire a priori la possibilità di interventi di nuova edificazione, ma rendono necessario il ricorso ad accorgimenti finalizzati a mitigare le condizioni di rischio. In questa sede sono state definite le indicazioni di carattere generale, per ciascuna delle classi di pericolosità da H1 a H3, che dovranno essere successivamente dettagliate e verificate, in funzione degli interventi e delle condizioni morfologiche locali, con studi specifici che dovranno essere allegati al progetto dell'intervento, redatti e firmati da un tecnico abilitato.

5.2. ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITA' GENERATA DA CROLLI IN ROCCIA

Le considerazioni relative alla pericolosità da caduta di blocchi rocciosi sono state riprese direttamente dallo studio geologico del maggio 2005, aggiornandole solo per le aree situate in via Bregno a Mazzunno, in parte interessate da interventi di difesa successivamente a quella data.

In questa sede sono state considerate le condizioni di pericolosità da caduta massi delle aree urbanizzate compresa nella fascia posta al piede delle pareti rocciose che costituiscono la parte inferiore del versante sinistro della valle del Dezzo, nel tratto compreso tra gli abitati di Terzano e di Mazzunno.

La valutazione della pericolosità da caduta massi è stata condotta in riferimento alle indicazioni contenute nell'Allegato 2 alla d.g.r. 29 ottobre 2001 n. 7/6645, adottando, in forma semplificata, la procedura denominata *R.H.A.P. (Rockfall Hazard Assesment Procedure)* e valida per crolli di singoli blocchi rocciosi o per crolli di massi fino a una volumetria massima di 1000 m³.

La valutazione è stata sviluppata secondo i passaggi descritti nei paragrafi seguenti.

5.2.a. - Analisi geologico-strutturale delle pareti rocciose

Le pareti rocciose poste alla base del versante destro della valle del Dezzo nel tratto compreso tra gli abitati di Terzano e Mazzunno sono costituite dai litotipi appartenenti alla parte inferiore della formazione del Calcarea di Angolo, rappresentati principalmente da calcari grigi organizzati in strati spessi o in banchi, con spessore variabile da 0.4 a 2 m, e subordinatamente da calcari marnosi in strati medi o sottili a volte rinsaldati in banchi. La giacitura delle rocce è rivolta in media con immersione verso nord e nord-ovest ed inclinazione dell'ordine di 30°.

Questa disposizione della stratificazione fa in modo che in tutta le pareti in esame affiori con continuità la stessa fascia litologica e si ha di conseguenza una situazione di relativa omogeneità nell'assetto morfologico complessivo e nelle caratteristiche degli ammassi rocciosi.

Le pareti rocciose in esame hanno in media un'altezza compresa tra 50 e 80 m, con altezza maggiore nella zona di Terzano, dell'ordine di 60-80 m, ed altezza minore nella zona di Mazzunno, dell'ordine di 50-60 m. Le pareti hanno un'inclinazione media compresa tra 50° e 60°, con punte locali di 45° e 65°, con alternanza di tratti più ripidi, qualche volta aggettanti, in corrispondenza degli strati calcarei di maggiore spessore, in genere prevalenti nella parte superiore, e tratti meno acclivi dove prevalgono i calcari marnosi a stratificazione sottile.

Le condizioni degli ammassi rocciosi sono nel complesso discrete: sono infatti mediamente poco fratturati e presentano generalmente un grado di alterazione basso, con roccia localmente decolorata.

A grandi linee anche le condizioni geometrico-strutturali sono relativamente omogenee su tutta la fascia in esame, con variazioni comprese entro un campo relativamente limitato.

I rilievi strutturali eseguiti mettono in evidenza una relativa uniformità nella disposizione e nelle caratteristiche delle famiglie di discontinuità, con variazioni locali legate alla presenza di piccole pieghe disposte con piano assiale subverticale, orientato in direzione all'incirca est-ovest.

Le geometrie delle pareti rocciose e la disposizione media delle famiglie di discontinuità determina principalmente condizioni favorevoli al verificarsi di fenomeni di scorrimento planare e di fenomeni di ribaltamento. In via del tutto subordinata sono localmente possibili anche fenomeni di crollo a partire da tratti di parete aggettante.

In riferimento alla spaziatura media delle discontinuità, maggiore nei calcari a strati spessi e minore in corrispondenza dei calcari marnosi a stratificazione sottile, i volumi unitari medi sono dell'ordine di 0.06-0.1 m³ mentre i volumi unitari massimi arrivano a circa 5 m³.

Le dimensioni dei frammenti rocciosi presenti nelle falde detritiche poste alla base dei tratti di parete rocciosa in esame hanno una distribuzione bimodale, con una forte abbondanza di frammenti di piccole dimensioni ed una presenza significativa di frammenti con dimensioni dell'ordine di 0.5-0.6 m di diametro; nettamente inferiore è la percentuale di massi di volume maggiore.

In riferimento alla relativa omogeneità della situazione descritta la suddivisione delle pareti rocciose in aree omogenee è stata fatta in modo del tutto semplificato, considerando come elemento omogeneo l'insieme delle caratteristiche presenti su tutta l'altezza della parete per ogni tratto di parete morfologicamente omogeneo nel suo sviluppo laterale.

La morfologia complessivamente lineare delle pareti e della fascia di versante posta alla loro base porta del resto ad una sovrapposizione, nella zona della falda, delle traiettorie di caduta di massi provenienti da settori diversi

della parete per cui la situazione di pericolosità della falda è condizionata dai settori di parete con caratteristiche peggiori.

5.2.b. - Individuazione di traiettorie di caduta blocchi

In ciascuna delle aree omogenee individuate sono state scelte una o più traiettorie di discesa blocchi su cui effettuare le simulazioni di caduta. Sono state ovviamente individuate le sezioni con le caratteristiche peggiori in relazione alle situazioni morfologiche locali. L'ubicazione delle sezioni è riportata nell'Allegato 2a, il profilo nell'Allegato 2b e i dati relativi alle sezioni nell'Allegato 2c.

5.2.c. - Modellazione delle traiettorie di caduta blocchi

Le traiettorie di caduta dei blocchi lungo il versante in esame sono state modellate utilizzando il programma *GeoRock - versione 4.1.11* - prodotto dalla *Geostru Software House*, che permette la ricostruzione delle traiettorie di caduta di blocchi lungo un pendio utilizzando il metodo di calcolo *CRSP (Colorado Rockfall Simulation Program)*.

Tale metodo è stato messo a punto da *Pfeiffer e Bowen (1989)* con lo scopo di modellare il moto di caduta di blocchi aventi la forma di sfere, cilindri o dischi con sezione circolare nel piano verticale del movimento; per descrivere il movimento dei blocchi il modello *CRSP* applica l'equazione del moto parabolico di un corpo in caduta libera ed il principio di conservazione dell'energia totale.

Il fenomeno d'impatto viene modellato utilizzando alcuni parametri, costituiti dai coefficienti di restituzione normale e tangenziale, dalla rugosità del pendio e dalle dimensioni dei blocchi.

In particolare, il modello *CRSP* assume che l'angolo formato tra la direzione del blocco ed il profilo del pendio vari secondo una statistica che deve essere definita per ogni caso analizzato; il modello tratta quindi in modo statistico anche i risultati che, principalmente, consistono nelle velocità e nelle altezze di rimbalzo rispetto alla superficie del pendio durante il percorso di caduta; il modello considera quindi le combinazioni dei movimenti di caduta libera, rimbalzo, rotolamento e scivolamento, che possono variare a seconda delle dimensioni dei blocchi e della rugosità del pendio.

L'affidabilità del modello è stata verificata attraverso confronti tra i risultati numerici e quelli ottenuti da prove in sito.

La descrizione del moto di caduta libera inizia da un punto nel quale si supponga nota la velocità iniziale, scomposta nelle sue componenti orizzontali e verticali. Il blocco è soggetto al movimento di caduta libera fino a quando non collide con la superficie del pendio. Dall'intersezione vengono ricavate le coordinate del punto di impatto. Il vettore della velocità di pre-impatto V , forma un angolo con il pendio. Ad ogni impatto l'inclinazione del pendio viene fatta variare casualmente in un campo di valori compreso tra 0 ed un valore funzione della rugosità del pendio e dalla dimensione del blocco.

La velocità che si ottiene a seguito dell'impatto, viene determinata attraverso l'equazione di conservazione dell'energia totale così espressa:

$$\left(\frac{1}{2} J \omega_1^2 + \frac{1}{2} M V_{t1}^2 \right) \times f(F) \times SF = \frac{1}{2} J \omega_2^2 + \frac{1}{2} M V_{t2}^2 \quad (1)$$

dove:

M = Massa del blocco;

J = Momento d'inerzia del blocco;

ω_1 = Velocità angolare prima dell'impatto;

ω_2 = Velocità angolare dopo l'impatto;

V_{t1} = Velocità tangenziale prima dell'impatto;

V_{t2} = Velocità tangenziale dopo l'impatto;

La funzione $f(F)$ di attrito così definita:

$$f(F) = SF + \frac{(1 - R_t)}{\left[\left(\frac{V_{n1} - \omega_1 \times R}{20} \right)^2 + 1.2 \right]}$$

Mentre la funzione di scala SF :

$$SF = \frac{R_t}{\left[\left(\frac{V_{n1}}{250 \times R_n} \right)^2 + 1 \right]}$$

Dove:

R_n = Coefficienti di restituzione normale;

R_t = Coefficienti di restituzione tangenziale;

R = Raggio del blocco;

I termini $f(F)$ e SF sono ricavabili attraverso espressioni empiriche che vengono utilizzate per valutare l'energia cinetica dissipata nelle collisioni tra blocco e pendio a causa dell'attrito e dell'urto.

L'attrito riguarda principalmente la dissipazione dell'energia prodotta dalla velocità tangenziale, l'urto quella prodotta dalla velocità normale al pendio.

Le velocità tangenziali e angolari post-collisione sono messe in relazione tra loro dalla seguente equazione:

$$V_{t2} = \omega_2 \times R$$

che assume che i blocchi abbandonino il contatto con il pendio ruotando, indipendentemente dalla velocità angolare precedente.

Dalla (1) si ottiene V_{t2} , mentre la velocità normale post-collisione viene ricavata dalla seguente espressione empirica:

$$V_{n2} = V_{n1} \times \frac{R_n}{\left[1 + \left(\frac{V_{n1}}{9} \right)^2 \right]}$$

che intende tener conto del fatto, verificato anche sperimentalmente, che il rapporto tra le velocità normali post-impatto e pre-impatto diminuisce con l'aumentare della velocità normale pre-impatto stessa.

5.2.d. - Sezioni e taratura modello

La ricostruzione delle traiettorie di caduta blocchi dalla parete è stata fatta sulla base di profili del versante ricavati dalla Carta Tecnica Comunale alla scala 1:2000, integrata da osservazioni e misure speditive di terreno.

Le sezioni utilizzate sono rappresentative dei diversi settori omogenei nei quali è suddivisa l'area in esame, sia rispetto alle caratteristiche della parete, sia nei confronti delle zone poste alla base.

I valori utilizzati per i coefficienti di restituzione normale e tangenziale sono stati ricavati dai dati disponibili nella letteratura specifica in riferimento alla natura del terreno e della copertura vegetale, tarando i valori sulla base della morfologia della falda e dei massi presenti e, soprattutto, sulla base delle caratteristiche osservate per un crollo verificatosi il 30-10-2003 in via Bregno, a monte della zona delle Terme. In questa occasione il blocco di maggiori dimensioni, arrestatosi sulla sommità del muro di valle di via Bregno, era assimilabile ad un parallelepipedo con dimensioni di 1.4x1.4x2.5 m e volume pari a 4.9 m³ circa. In particolare, la taratura del modello è stata fatta in riferimento all'osservazione della distanza di arresto lungo il pendio dei blocchi di diversa volumetria, alla distanza fra le impronte di impatto e all'altezza delle traiettorie, ricavabile dalle tracce lasciate dai massi caduti). I valori dei coefficienti di restituzione e di rugosità lungo le sezioni utilizzate sono riportati nelle tabelle dell'Allegato 2c.

Le dimensioni e la forma dei blocchi considerati nella ricostruzione delle traiettorie sono state desunte dai dati dei rilievi strutturali e dall'osservazione della parete, che hanno permesso di ricavare l'ordine di grandezza dei volumi unitari potenziali, e dall'osservazione dei volumi reali dei blocchi osservati per il crollo avvenuto il 30-10-2003.

La ricostruzione delle traiettorie è stata condotta sia per il blocco rappresentativo del volume unitario massimo, sia per il blocco rappresentativo del volume unitario modale maggiore.

Operando a favore della sicurezza, sono stati utilizzati nella modellazione massi di forma sferica.

5.2.e. - Risultati della modellazione

I risultati ottenuti nella ricostruzione delle traiettorie di caduta sono rappresentati nell'Allegato 2b, visualizzazione traiettorie di caduta dei blocchi rappresentativi del volume modale, e nell'allegato 2c, risultati numerici, sia per la caduta dei blocchi rappresentativi del volume unitario massimo sia per quelli rappresentativi del blocco unitario modale.

La ricostruzione delle traiettorie è stata fatta simulando la caduta di 1000 blocchi, mentre nelle sezioni in allegato sono state rappresentate solo 20 traiettorie per motivi di leggibilità.

In base ai risultati delle analisi di rotolamento massi, si è effettuata una zonazione longitudinale preliminare delle traiettorie di caduta, suddividendole in tre zone:

- a) di transito e arresto del 70% dei blocchi: a questa zona viene assegnata una *classe di pericolosità relativa 4*;
- b) di arresto del 95% dei blocchi: a questa zona viene assegnata una *classe di pericolosità relativa 3*;

Queste percentuali sono valutate sulla totalità delle simulazioni effettuate – 1000 cadute per ogni traiettoria – sui blocchi di volume modale maggiore considerato.

In aggiunta si delimita un'area di bassa pericolosità (*classe di pericolosità relativa 1*), utilizzando la distanza massima raggiunta dal blocco di maggiori dimensioni, oppure la distanza massima raggiunta da massi di crolli precedenti. Con la modellazione, oltre alla distanza di arresto dei blocchi, è stata anche valutata l'energia di impatto dei blocchi su un eventuale barriera individuando, rispetto al blocco di volume maggiore e al blocco modale, la distanza a partire dalla quale si hanno energie di impatto dell'ordine di 1500-2000Kj, contenibili da parte delle barriere paramassi attualmente in uso.

5.2.f. - Valutazione dell'attività relativa delle aree omogenee di origine dei crolli

Dopo aver determinato le classi di pericolosità relativa, è stata valutata la probabilità di accadimento dei fenomeni di caduta massi in ciascuna delle aree omogenee, definendo la propensione al distacco dei blocchi in relazione alla presenza dei seguenti elementi di instabilità:

- Fratture aperte con evidenze di attività associate a cinematismi possibili
- Blocchi ruotati
- Zone intensamente fratturate
- Superfici non alterate che testimoniano recenti distacchi
- Emergenza di acqua alla base di blocchi

Poi, per ciascuna area omogenea viene calcolata la somma di tutti gli elementi di instabilità presenti nelle varie maglie e si ricava la percentuale di attività in relazione al numero massimo ottenibile nell'area omogenea, dando a ciascuna maglia il valore massimo 5.

In base alle percentuali così ricavate, le aree omogenee vengono suddivise in tre gruppi a differente *attività relativa*: *alta, media, bassa*.

Per tutte le aree omogenee individuate in forma semplificata è stata assegnata un'attività media come risultato della presenza di un fattore in modo relativamente diffuso (fratture aperte) e altri due o tre fattori presenti localmente (blocchi ruotati e superfici di distacco e, ancora meno diffusamente, zone di intensa fratturazione).

Questa valutazione conferma nell'insieme quanto risulta dalle osservazioni di terreno e dalle testimonianze raccolte dalle quali risulta una relativa frequenza per i fenomeni di distacco di piccoli frammenti, con dimensioni non superiori a pochi dm³ che si arrestano in una zona posta immediatamente alla base delle pareti, e rari episodi di distacco di volumi maggiori.

5.2.g.- Zonazione finale della pericolosità

La *zonazione finale della pericolosità* viene definita utilizzando i valori delle *classi di pericolosità relativa* della zona di transito e accumulo dei blocchi, che vengono aumentati di 1, mantenuti costanti o diminuiti di 1 a seconda che le pareti sovrastanti appartengano ai gruppi di attività alta, media o bassa rispettivamente. Si possono così avere in totale 5 classi di pericolosità, da *H1* a *H5*.

In riferimento alle indicazioni contenute nella normativa di riferimento, ed in particolare nella d.g.r. n. 7/7365 del 11/12/2001, si ha inoltre la corrispondenza tra le classi di pericolosità definite in questo studio e le classi di fattibilità geologica per le azioni di piano, secondo il seguente schema:

Classi di pericolosità	Classi di fattibilità geologica per le azioni di piano
<i>(Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da frana in adempimento alla L. 267/98)</i>	<i>(criteri ed indirizzi relativi alla componente geologica nella pianificazione comunale secondo quanto disposto dall'art. 3 della L.R. 24 novembre 1997, n. 41)</i>
H5	4
H4	4

H3	3
H2	2
H1	1

5.2. h. - Descrizione delle aree

Zona di Mazzunno - via Bregno (sezioni da 1 a 4)

Il settore centrale della parete è stato interessato da un fenomeno di crollo avvenuto il 30 ottobre 2003 che ha permesso di tarare la modellazione delle traiettorie di caduta.

Diametro modale considerato di 0,65 m; diametro maggiore di 2 m. L'altezza della parete rocciosa posta alla base del versante diminuisce da est verso ovest in funzione della disposizione della stratificazione e l'estensione delle aree a maggiore pericolosità si riduce in modo analogo. La falda alla base della parete si sovrappone ad un terrazzo morfologico minore prima di raccordarsi al terrazzo di Mazzunno. Nel settore ovest le zone a pericolosità maggiore, H4 ed H5, si estendono all'incirca fino alla metà della falda che raccorda la base del versante al ripiano, mantenendosi a monte o lambendo i fabbricati presenti. Nei settori centrale ed orientale le zone a pericolosità maggiore si estenderebbero fino a comprendere via Bregno, ma sono state limitate a valle in corrispondenza della barriera paramassi realizzata nel 2008 a protezione delle abitazioni esistenti; la zona a pericolosità media si estende invece al settore di ripiano posto a valle della strada.

Zona tra Mazzunno e Terzano - via Lorenzetti (sezioni 5 e 6)

Diametro modale considerato di 0,6 m; diametro maggiore di 1,7 m. Alla base delle pareti rocciose si ha un pendio piuttosto ripido ed esteso rispetto ai settori adiacenti, a causa dell'erosione maggiore dei depositi fluvioglaciali. Le zone a pericolosità maggiore, H4 ed H5, si estendono all'incirca fino al terzo inferiore del pendio senza comprendere abitazioni. Le zone a pericolosità minore si estendono poco a valle dei via Lorenzetti, comprendendo alcune abitazioni situate a monte ed immediatamente a valle di essa.

Zona ad ovest di Terzano - via S. Giovanni (sezioni 7 ed 8)

Diametro modale considerato di 0,6 m; diametro maggiore di 1,6 m. Alla base delle pareti rocciose si ha un pendio una falda di raccordo al terrazzo morfologico posto a monte di quello di Terzano. Le zone a pericolosità maggiore, H4 ed H5, si estendono all'incirca fino al terzo inferiore del pendio, al limite del fabbricato della scuola materna, peraltro protetta in parte da una barriera paramassi rigida (montanti in acciaio e traverse in legno) che si estende anche a monte della vasca dell'acquedotto. Le zone a pericolosità minore si estendono per tutto il ripiano del terrazzo.

Zona a monte di Terzano (sezioni 9, 10 e 11)

Diametro modale considerato di 0,5-0,6 m; diametro maggiore di 1,6-2 m. Le zone a pericolosità maggiore, H4 ed H5, si estendono per quasi tutta la falda di raccordo al terrazzo di Terzano, arrestandosi poco a monte di due abitazioni esistenti. Le zone a pericolosità minore si estendono fino alla strada che delimita a monte il nucleo storico. La situazione migliora verso est, perchè diminuisce l'altezza della parete.

Zona ad est di Terzano (sezioni 12 ed 13)

Diametro modale considerato di 0,5 m; diametro maggiore di 1,25 m. L'altezza della parete aumenta da ovest verso est e di conseguenza l'ampiezza delle zone di pericolosità. Le zone a pericolosità maggiore, H4 ed H5, si estendono per quasi tutta la falda di raccordo al terrazzo di Terzano mentre le zone a pericolosità minore si estendono fino alla strada che delimita a monte il nucleo storico. La situazione migliora verso est, perchè diminuisce l'altezza della parete.

5.3. AREE POTENZIALMENTE ALLUVIONABILI LUNGO IL TORRENTE DEZZO

Nel corso dei rilievi di campagna è stata fatta una prima individuazione, su base puramente morfologica, in relazione alla posizione ed alle quote relative rispetto all'alveo, della presenza di aree potenzialmente alluvionabili lungo il corso del torrente Dezzo.

Questa valutazione ha messo in evidenza la potenziale pericolosità, nei confronti di piene a carattere eccezionale, della piana di fondovalle recente situata in sponda sinistra del torrente Dezzo, all'altezza di Angolo e Mazzunno, dove si trovano l'impianto di imbottigliamento, buona parte del parco e delle strutture ricettive e di cura delle Terme.

Per valutare con maggiore dettaglio la situazione di questo tratto del fondovalle del Dezzo nell'ambito dello studio geologico del maggio 2005 era stata fatta una verifica idraulica su tre sezioni di alveo morfologicamente significative, ubicate rispettivamente, da valle verso monte:

- 1 - tratto di alveo posto in corrispondenza del settore di valle dell'albergo delle Terme;
- 2 - tratto di alveo posto all'altezza dell'impianto di imbottigliamento, dove si riscontra un leggero restringimento della sezione;
- 3 - tratto di alveo posto immediatamente a monte dell'ansa che delimita l'angolo sud-ovest della zona dell'impianto di imbottigliamento.

Le verifiche, i risultati delle quali sono riportati in allegato a fine testo (allegati 3a, 3b, 3c, 3d), avevano messo in evidenza condizioni di criticità rispetto alla portata stimata per un tempo di ritorno di 100 anni per la sezione posta all'altezza dell'estremità est dell'impianto di imbottigliamento mentre la sezione posta più a monte, all'altezza dell'estremità ovest dell'impianto, era risultata in grado di fare defluire una portata di poco inferiore alla massima portata stimata per un tempo di ritorno di 200 anni. In riferimento ai risultati delle verifiche ed alla morfologia locale, eventi di piena con portata dell'ordine della massima piena per un tempo di ritorno di 100 e 200 anni possono dar luogo all'esonazione di tutto il settore di piana in cui si trova l'impianto di imbottigliamento delle Terme e del settore posto a ridosso dell'alveo del parco delle Terme, comprendendo una parte dei padiglioni delle Terme e andando a lambire l'Albergo.

Le zone di piana poste esternamente a questa, dove si trova il resto del Parco delle Terme, sono invece potenzialmente alluvionabili solo in occasione di piene a carattere catastrofico.

Successivamente a queste verifiche, già nel corso del 2005, in questo tratto del torrente Dezzo sono stati eseguiti degli interventi di sistemazione idraulica, svasso locale della sezione d'alveo, realizzazione di soglie di fondo e opere di difesa di sponda ad integrazione di quelle esistenti, che hanno consentito di contenere i fenomeni erosivi e hanno modificato le condizioni locali di deflusso migliorandole.

In questa sede è stata comunque mantenuta prudenzialmente la valutazione del maggio 2005 rimandando ad una nuova verifica da condurre sulla base di un rilievo topografico aggiornato del tratto di torrente in esame.

6. ANALISI DEL RISCHIO SISMICO

6.1 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 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*" (G.U. n° 105 del 8/05/2003, suppl. ord. n. 72), sono state individuate in prima applicazione le zone sismiche sul territorio nazionale e fornite le normative tecniche da adottare per le costruzioni nelle zone sismiche stesse. Tale ordinanza è entrata in vigore, per gli aspetti inerenti la classificazione sismica, contestualmente al DM 14 settembre 2005 "*Norme Tecniche per le costruzioni*".

La Regione Lombardia, con la d.g.r. n° 14964 del 7 Novembre 2003, ha preso atto della classificazione fornita in prima applicazione dall'Ordinanza 3274/03.

Secondo tale classificazione il territorio del Comune di Angolo Terme ricade in zona sismica 4.

Il DM 14/01/2008 "*Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni*", entrato in vigore il 5 marzo 2008 in sostituzione del precedente DM 14/09/2005, ha assunto, come riferimento per la nuova definizione della sismicità del territorio nazionale, la mappa dei valori di a_g calcolati su una griglia con passo di $0,02^\circ$, di cui all'allegato 1b all'Ordinanza PCM n° 3519 del 28 aprile 2006: questa sostituisce la precedente suddivisione in 4 zone a differente sismicità, che rimane come riferimento dal punto di vista amministrativo.

Secondo la nuova classificazione, i parametri sismici di una data area vanno definiti in base alle coordinate, interpolando i dati contenuti nelle tabelle dell'allegato B al DM 14/01/2008.

La Regione Lombardia si è adeguata al DM 14/01/2008 e alla nuova classificazione sismica con la d.g.r. n. 8/7374 del 28/05/2008 secondo le indicazioni della quale è stato redatto il presente studio.

Il DM 14/01/2008 prevedeva un periodo di monitoraggio di 18 mesi che è terminato il 30 giugno 2009 e quindi, a partire dal 1° luglio 2009, la progettazione antisismica è regolata dal DM 14/01/2008 per tutte le zone sismiche e per tutte le tipologie di edifici.

6.2 - RISPOSTA SISMICA LOCALE

Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base, producendo effetti diversi che vanno a sovrapporsi e sommarsi a quelli del sisma; tali effetti devono essere considerati nella valutazione generale della pericolosità sismica di una data area e costituiscono l'oggetto della "componente sismica" del Piano di Governo del Territorio secondo la d.g.r. n. 8/7374 del 28/05/2008.

Gli effetti, in funzione delle caratteristiche del terreno presente, vengono distinti in due gruppi: gli effetti di sito, o di amplificazione sismica locale, e gli effetti di instabilità.

Gli effetti di sito o di amplificazione sismica locale interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche e sono rappresentati dall'insieme delle modifiche che un moto sismico (terremoto di riferimento) relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire presso la superficie topografica o durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock. Tali effetti si distinguono a loro volta in due sottogruppi che possono essere contemporaneamente presenti nello stesso sito.

- 1 - Gli effetti di amplificazione topografica, che si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali più o meno articolate, che favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche presso la cresta dei rilievi e i ripiani sovrastanti le scarpate, con conseguente amplificazione delle onde stesse a causa di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto.
- 2- Gli effetti di amplificazione litologica, che si verificano quando sono presenti profili stratigrafici con determinate proprietà meccaniche sovrastanti il bedrock e che portano all'esaltazione locale delle azioni sismiche causate da 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 vibrazione del terreno e della sovrastruttura.

Gli effetti di instabilità interessano invece tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese e che può rivelarsi incompatibile con la stabilità delle strutture presenti. I principali effetti di instabilità sono i seguenti.

- Fenomeni di riattivazione o neoformazione di movimenti franosi (crolli, scivolamenti rotazionali e/o traslazionali, colamenti eccetera) per i quali il sisma rappresenta un fattore d'innesco del movimento a causa dell'accelerazione esercitata o a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali.
- Movimenti relativi verticali e orizzontali tra diversi settori areali posti in corrispondenza di faglie sismogenetiche, che portano a scorrimenti e cedimenti differenziali (tali fenomeni sono possibili solo per terremoti di magnitudo molto elevata e in presenza di particolari strutture geologiche affioranti o sepolte).
- Fenomeni di rottura connessi a deformazione permanente del suolo nel caso di terreni caratterizzati da proprietà fisico-meccaniche particolarmente scadenti; per terreni granulari sopra falda sono possibili cedimenti a causa di fenomeni di addensamento del materiale, mentre per terreni granulari fini (sabbiosi) saturi sono possibili fluiscenti e colamenti a causa di fenomeni di liquefazione.

- Nel caso di siti interessati da carsismo sotterraneo o da particolari strutture vacuolari presenti nel sottosuolo si possono verificare fenomeni di subsidenza più o meno accentuati, legati al crollo parziale o totale delle cavità sotterranee.

6.2.a. Metodologia per l'analisi della risposta sismica

Nel presente paragrafo viene riassunta la metodologia definita dalla d.g.r. 28 maggio 2008 n. 8/7374 per l'analisi della risposta sismica in un dato territorio comunale, in adempimento a quanto previsto dal DM 14/01/2008, dalla dgr n. 14964 del 7/11/2003 e dal dduo n. 19904 del 21/11/2003.

Tale metodologia prevede tre livelli di approfondimento, in funzione della zona sismica di appartenenza, degli scenari di pericolosità sismica locale, dell'importanza degli edifici interessati e della fase di lavoro (pianificatoria o progettuale).

- **Analisi di primo livello:** è un approccio di tipo qualitativo che consiste nel riconoscimento delle situazioni passibili di amplificazione sismica o di effetti di instabilità sulla base di dati esistenti, cartografie di inquadramento, osservazioni geologico-geomorfologiche, topografiche e morfometriche del territorio. Tale livello, obbligatorio per tutti i comuni, prevede la redazione della "Carta della pericolosità sismica locale" (PSL) su tutto il territorio comunale, nella quale deve essere riportata la perimetrazione areale e lineare delle diverse situazioni tipo definite nella legenda contenuta nell'allegato 5 alla d.g.r. n. 8/7374, in grado di determinare gli effetti sismici locali e denominate "scenari di pericolosità sismica locale" (zone PSL da Z1 a Z5).
- **Analisi di secondo livello:** è un approccio di tipo semi-quantitativo che si applica nelle sole aree passibili di amplificazione perimetrata nella carta della pericolosità sismica locale (zone PSL Z3 e Z4); permette di determinare un valore numerico (fattore di amplificazione sismica locale - F_a) che fornisce una stima dell'effettiva risposta sismica delle situazioni individuate con il primo livello. Per applicare tale procedura (per i dettagli sulla quale si rimanda all'allegato 5 alla dgr n. 8/7374) sono necessari, relativamente alle situazioni individuate, dati più approfonditi di tipo morfometrico, litologico-stratigrafico e geofisico, questi ultimi in particolare relativi alla velocità di propagazione nel terreno delle onde sismiche di taglio).

L'analisi di secondo livello è obbligatoria, per i comuni ricadenti in zona sismica 2 e 3, nelle zone interferenti con l'urbanizzato e nelle aree di espansione urbanistica; nei comuni ricadenti in zona sismica 4 tale livello deve essere applicato nelle situazioni in cui si prevede la realizzazione o l'ampliamento di costruzioni strategiche e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03). Il valore di F_a relativo agli effetti litologici determinato con l'applicazione del secondo livello deve essere confrontato con "valori soglia" definiti dalla Regione Lombardia in riferimento al DM 14/01/08 per ogni comune, al fine di determinare se la normativa nazionale risulti sufficiente a tenere in considerazione anche gli effetti di amplificazione sismica locale ($F_a < \text{soglia}$) o insufficiente ($F_a > \text{soglia}$). Il valore di F_a relativo agli effetti morfologici deve essere invece confrontato con il parametro St del DM 14/01/2008.

Nella carta della fattibilità delle azioni di piano devono essere riportate con appositi retini trasparenti le aree a pericolosità sismica locale, distinguendo quelle con Fa maggiore del valore soglia comunale da quelle con Fa minore.

- **Analisi di terzo livello:** è un approccio di tipo quantitativo e consiste nella determinazione degli effetti di amplificazione con indagini e analisi ancor più approfondite (per la descrizione delle quali si rimanda all'allegato 5 alla d.g.r. n. 8/7374). Le analisi di terzo livello si applicano in fase progettuale nelle aree passibili di effetti di instabilità individuate con il primo livello (zone PSL Z1 e Z2) e nelle aree analizzate con il secondo livello per le quali si è ottenuto un valore di Fa superiore alla soglia; in quest'ultimo caso, in fase progettuale, in alternativa all'applicazione del terzo livello, per gli effetti litologici è possibile utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore secondo il seguente schema:

- anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C. Nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

Nei comuni ricadenti in zona sismica 4 tale livello deve essere applicato nei confronti di costruzioni strategiche e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03).

Non è necessaria la valutazione di terzo livello relativamente allo scenario Z5 (zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse), in quanto questo esclude la possibilità di costruzione a cavallo dei due litotipi; in fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo da ottenere un terreno di fondazione omogeneo, o adottando accorgimenti progettuali atti a garantire la sicurezza dell'edificio.

6.3. ANALISI DI PRIMO LIVELLO - CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Come precedentemente esposto, il territorio del Comune di Angolo Terme ricade in zona sismica 4 ed è quindi richiesta obbligatoriamente l'applicazione dell'analisi di primo livello per tutto il territorio comunale e del secondo livello per le zone passibili di amplificazione sismica, in cui è prevista la realizzazione o l'ampliamento di costruzioni strategiche e rilevanti (elenco tipologico di cui al dduo n° 19904/03).

E' stata quindi applicata l'analisi di primo livello all'intero territorio comunale con la redazione della carta di pericolosità sismica locale, mentre non è stata applicata l'analisi di secondo livello in quanto, nell'ambito del PGT, l'Amministrazione Comunale non ha al momento in previsione interventi di tipo strategico o rilevante.

Per quanto riguarda l'analisi di primo livello, conformemente a quanto richiesto dalla normativa, sono state individuate le aree passibili di amplificazione sismica o di effetti di instabilità, con la redazione della Carta di pericolosità sismica locale alla scala 1:10.000 (Tavola 1), realizzata in base all'analisi delle carte topografiche, della carta di sintesi del PGT (tavola 3) e della cartografia relativa al precedente studio geologico del maggio 2005.

La legenda della carta PSL è stata derivata da quella di riferimento definita nell'ambito dell'allegato 5 alla dgr n. 8/7374, riportata nella pagina seguente.

SIGLA	SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	<i>Instabilità (attivazione-riattivazione accelerazione movimenti)</i>
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	<i>Instabilità (cedimenti-liquefazioni)</i>
SIGLA	SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE
Z3a	Zona di ciglio H>10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	<i>Amplificazioni topografiche</i>
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite – arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi	<i>Amplificazioni litologiche</i>
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche)	
Z4d	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	<i>Instabilità (comportamenti differenziali)</i>

Negli scenari Z1 a e b sono state inserite rispettivamente le zone caratterizzate da movimenti franosi attivi e quiescenti, ricavate dall'analisi della carta di sintesi alla scala 1:10.000 (allegato 3). Lo scenario Z1 c è stato suddiviso in due categorie: nella prima (Z1 c') sono state inserite, in quanto potenzialmente franose ed esposte a rischio frana, le pareti rocciose interessate da fenomeni di crollo e le aree potenzialmente raggiungibili dai blocchi in caduta ricavate dalla carta di sintesi, mentre nella seconda (Z1 c'') sono state inserite le aree rappresentate nella carta di sintesi come "aree con forme carsiche di superficie ed interessate da carsismo profondo" in quanto potenzialmente soggette a fenomeni di subsidenza.

Per quanto riguarda lo scenario Z3a sono state indicate le linee corrispondenti al ciglio di scarpate aventi altezza superiore a 10 m (margine di terrazzi morfologici, cigli di scarpate di erosione torrentizia e di pareti rocciose, ecc.), ricavate dallo studio del territorio e dalla cartografia di base del PGT, dall'analisi della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 e dell'aerofotogrammetrico comunale alla scala 1:2.000. Per quanto riguarda lo

scenario Z3b sono state indicate le linee di cresta individuate in base all'analisi della Carta Tecnica Regionale e dell'aerofotogrammetrico comunale alla scala 1:2.000.

Nello scenario Z4 sono state inserite le aree caratterizzate dalla presenza di depositi superficiali con spessore indicativamente superiore a 3 m che rappresenta lo spessore massimo di copertura superficiale che una formazione a comportamento rigido - categoria di suolo di fondazione di tipo A - può presentare secondo il dm 14/01/2008, desunte dall'analisi della cartografia dello studio geologico del maggio 2005. Nella categoria Z4a sono stati inseriti i depositi alluvionali e di origine glaciale presenti nella piana di fondovalle del torrente Dezzo, nel tratto compreso fra il ponte di quota 361,8 m e il settore all'altezza della località Dazze.

Nella categoria Z4b sono stati inclusi i depositi di conoide alluvionale (sia quelli recenti ed attuali, sia quelli fossili, posti allo sbocco sul fondovalle dei corsi d'acqua principali), e le falde di detrito, presenti alla base delle pareti rocciose.

Nella categoria Z4c sono state inserite le aree con presenza di depositi aventi origine glaciale.

depositi relativi alle categorie Z4b e Z4c interessano diffusamente il settore inferiore del territorio comunale, e in particolare la zona di raccordo fra il fondovalle del Dezzo e i versanti e la zona posta a monte dell'abitato di Anfurro. Nel resto del territorio comunale il substrato roccioso è affiorante, subaffiorante o posto a profondità limitate e quindi le zone con presenza di depositi in superficie aventi spessore superiore a 3 m sono poche ed isolate. Nella categoria Z4d sono state inserite le aree con depositi colluviali ed eluviali (zona alla base del versante sinistro presso il Colle Vareno, area poco ad est del Monte Ghigozzo e due piccole aree a nord del Lago Moro).

Per quanto riguarda lo scenario Z5, sono stati indicati come "linee di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse", tutti i limiti esterni delle zone Z4 a contatto con substrato roccioso affiorante, subaffiorante o con depositi superficiali aventi spessore indicativamente inferiore a 3 m.

Si sottolinea che la carta di pericolosità sismica realizzata ha valore di inquadramento ed è da considerarsi come riferimento e punto di partenza per l'applicazione di eventuali successivi livelli di approfondimento. Per i futuri interventi edilizi, nel caso in cui si debba, edifici strategici e rilevanti, o si voglia determinare il reale effetto di sito in fase progettuale sarà necessario valutare nel dettaglio, in sede di relazione geologica associata al progetto dell'intervento, l'effettiva presenza o meno di situazioni passibili di amplificazione sismica o di effetti di instabilità (fenomeni di instabilità di versante o di carsismo sotterraneo, presenza di terreni particolarmente scadenti o passibili di liquefazione, presenza di cigli di scarpate o creste, presenza di depositi superficiali con spessore superiore a 3 m, presenza di contatti fra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse).

FASE DI SINTESI E VALUTAZIONE

7. CARTA DEI VINCOLI

Nella Carta dei Vincoli (Tavola 2), redatta alla scala 1:10.000 per tutto il territorio comunale, sono state rappresentate le limitazioni d'uso del territorio legate a motivazioni di carattere prettamente geologico.

Per quanto riguarda i geositi, nell'elenco contenuto nella dgr 28/05/2008 n. 8/7374, per il comune di Angolo Terme è presente la sezione-tipo della formazione del Calcere di Angolo. Nella Carta dei vincoli questo geosito non è stato inserito in quanto, come riportato nello studio di istituzione della formazione (Assereto & Casati, 1965), alla quale fa riferimento anche il "Catalogo delle Formazioni Geologiche Italiane", le sezioni-tipo di entrambi i membri che la costituiscono (inferiore e superiore) sono in realtà poste all'esterno del territorio comunale di Angolo Terme. In particolare la sezione tipo del membro inferiore del Calcere di Angolo si trova in comune di Rogno, mentre quella del membro superiore si trova in comune di Darfo Boario Terme.

7.a. – Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile

Nel territorio comunale di Angolo Terme sono presenti alcune sorgenti captate per uso idropotabile dall'acquedotto comunale, oltre ad una sorgente captata dall'acquedotto del comune di Darfo Boario Terme (Sorgente Lanzoni, posta lungo la forra del torrente Dezzo).

In questa sede sono state confermate le perimetrazioni introdotte nell'ambito dello studio geologico del maggio 2005. Tutte le Zone di Rispetto rappresentate in carta sono state individuate secondo il criterio geometrico e definite pertanto da una porzione di cerchio avente centro sulla sorgente, raggio di 200 m e chiusa a valle dall'isoipsa della quota della sorgente, mentre per la sola sorgente Lanzoni è stata riportata anche la Zona di Protezione.

Per i pozzi delle Terme di Angolo non sono state individuate in questa sede le aree di salvaguardia, in quanto pozzi privati. Per la tutela di questi pozzi e dell'acquifero delle acque minerali è stata comunque individuata un'area di attenzione nell'ambito della carta di fattibilità delle azioni di piano.

7.b. – Vincoli di polizia idraulica

Nella carta dei vincoli sono state rappresentate le fasce di rispetto del reticolo idrico minore e principale, così come definite nello studio denominato "Individuazione del reticolo minore e delle fasce di rispetto", redatto dallo scrivente nel 2005 su incarico del comune di Angolo Terme e successivamente recepito con apposita variante urbanistica. In tale studio, nei settori urbanizzati del territorio comunale e nel loro intorno, il reticolo idrico e le relative fasce di rispetto erano stati rappresentati alla scala di dettaglio 1:2.000 sull'aerofotogrammetrico comunale, mentre in questa sede la perimetrazione delle fasce di rispetto è stata tutta rappresentata sulla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:10.000 .

Per tutti gli aspetti relativi all'individuazione ed al tracciamento del reticolo idrico e delle fasce di rispetto ed alla normativa riguardante l'alveo e le fasce si rimanda direttamente allo studio relativo.

7.c. -Vincoli derivanti dalla "Carta del dissesto con legenda uniformata a quella del PAI - delimitazione delle aree in dissesto".

Si tratta delle aree individuate in questa sede in riferimento alle indicazioni contenute nella d.g.r. 28 maggio 2008 n. 8/7374 in aggiornamento al quadro del dissesto relativo agli Allegati 4.1 e 4.2 all'Elaborato 2 del PAI ed alle aree a rischio idrogeologico molto elevato relative al PS267.

8. CARTA DI SINTESI

Negli intenti della normativa di riferimento la Carta di Sintesi è un elaborato finalizzato a definire un quadro sintetico ed immediato dello stato geologico del territorio. Questa carta deriva dalla valutazione d'insieme degli elementi emersi nella fase d'indagine e rappresenta le aree in ragione della pericolosità geologica ovvero della presenza di elementi che possono rappresentare una limitazione di carattere geologico all'uso del territorio derivanti da uno o dalla sovrapposizione di più fattori.

La carta è stata quindi redatta sulla base della cartografia relativa allo Studio geologico del maggio 2005, in particolare della carta morfologica, integrata e aggiornata con sopralluoghi e rilievi finalizzati a verificare eventuali variazioni e ad approfondire localmente le tematiche.

Nello Studio Geologico del maggio 2005 la carta di sintesi è stata redatta alla scala 1:2.000 per le sole aree urbanizzate ed un loro intorno significativo: con lo studio relativo al PGT la carta di sintesi è stata estesa, alla scala 1:10.000, a tutto il territorio comunali.

Per quanto riguarda le aree urbanizzate sono state sostanzialmente confermate, salvo pochi aggiornamenti locali dovuti a variazioni successive, le valutazioni relative alla carta del maggio 2005. In particolare le variazioni sono legate principalmente alla realizzazione di interventi, come le barriere paramassi in via Bregno a Mazzunno e la vasca di sedimentazione in via Bilinghera ad Angolo, che hanno portato a modificare localmente le condizioni di pericolosità.

Per quanto riguarda le aree non urbanizzate, rispetto alla carta redatta nel settembre 2009, il presente aggiornamento in data febbraio 2010 presenta alcune modifiche locali, frutto sia di sopralluoghi di terreno sia di analisi di maggiore dettaglio che hanno portato in alcuni casi a modificare la valutazione delle condizioni di pericolosità per le aree. In particolare è stata modificata la valutazione della pericolosità rispetto ai fenomeni di caduta di blocchi per alcune piccole aree situate nel settore di versante posto a valle e poco a monte di Anfurro, sui versanti destro e sinistro della Valle Fada, nei pressi di malga Guccione, sul fianco destro della Valle di Poia ed alla testata e sul fianco sinistro della Valle di S. Giovanni.

In relazione alle caratteristiche geologiche locali ed alle indicazioni della normativa di riferimento, per il territorio in esame sono state individuate le categorie di pericolosità e vulnerabilità idrogeologica che costituiscono la legenda della carta di sintesi e sono descritte nei paragrafi seguenti.

8.1. - AREE PERICOLOSE DAL PUNTO DI VISTA DELL'INSTABILITA' DEI VERSANTI

8.1.a. - Aree di frana attiva

A questa categoria è stato assegnato sostanzialmente un unico fenomeno franoso significativo. Si tratta di una forma complessa, per scorrimento e colata, che interessa la parte inferiore del fianco sinistro della forra del torrente Dezzo, di fronte a Padone, e che negli ultimi anni, a partire almeno dal 2002, è stata caratterizzata da riattivazioni stagionali in occasione di piogge intense o prolungate.

8.1.b. - Aree di frana quiescente

Questa categoria considera tutte le tipologie di fenomeni franosi ad esclusione dei fenomeni di crollo e ribaltamento in roccia, considerati con una voce specifica, e vi rientrano le aree che possono subire un'evoluzione rispetto alle condizioni osservate nella fase di rilievo, con una riattivazione dei fenomeni franosi.

Principalmente si tratta di fenomeni franosi relativamente ampi e profondi che interessano sia i depositi superficiali sia il substrato roccioso, accompagnati da fenomeni franosi di minori dimensioni che interessano solamente i depositi superficiali. I fenomeni maggiori sono localizzati in aree relativamente distanti dalle zone urbanizzate e sono rappresentati da situazioni che, oltre ad una relativa evidenza morfologica complessiva,

evidenziano la presenza di elementi indicativi di un'attività recente se non per il fenomeno nel complesso almeno per i fenomeni franosi o di degradazione minori ad esso associati.

8.1.c. - Aree di frana inattiva

La categoria considera alcuni fenomeni franosi, da relativamente ampi e profondi fino a fenomeni di deformazione gravitativa profonda di versante, per i quali si ha solo un'evidenza morfologica complessiva, ma non si hanno testimonianze o evidenze di riattivazioni recenti. Tali fenomeni si possono pertanto considerare come stabilizzati e quindi inattivi o quantomeno con una probabilità molto bassa di risentire nuovamente di eventi deformativi significativi. Queste aree potrebbero essere soggette più facilmente di altre all'innescò di forme di degradazione o di fenomeni franosi minori.

8.1.d. - Aree interessate da diffusi ed intensi fenomeni di degradazione superficiale ed aree che possono risentire dell'influenza di tali fenomeni

Aree interessate in modo relativamente diffuso dalla presenza di fenomeni franosi o di degradazione, in genere di piccole dimensioni. I fenomeni presenti sono rappresentati principalmente da forme di scorrimento traslazionale o colata, da forme di erosione laterale lungo le sponde dei corsi d'acqua, da forme di erosione da ruscellamento concentrato o diffuso, da forme di reptazione o di soliflusso intense e localmente anche da fenomeni di caduta di blocchi da piccole pareti rocciose.

La categoria comprende sia le aree direttamente interessate dai fenomeni sia le aree ad esse vicine che possono risentire in modo indiretto dell'evoluzione dei fenomeni ed essere coinvolte per estensione laterale o regressiva oppure per espansione verso valle.

La valutazione delle aree potenzialmente coinvolte è stata fatta su base morfologica in riferimento alla tipologia dei fenomeni ed alla conformazione dei siti.

8.1.e. - Aree acclivi e/o interessate direttamente o indirettamente da problemi di stabilità

Aree disposte su pendii acclivi, con inclinazione media superiore a 30°, già localmente interessate da fenomeni di reptazione o soliflusso o piccole forme di erosione da ruscellamento o comunque caratterizzate in genere dalla presenza di una coltre di depositi superficiali, principalmente di origine eluviale o colluviale, a volte detritica o glaciale, con frazione fine apprezzabile e poco addensati che possono essere di conseguenza più facilmente soggette di altre all'innescò di fenomeni franosi o di degradazione superficiale. Possono essere localmente presenti anche affioramenti di ammassi rocciosi relativamente fratturati e soggetti a forme di degradazione con possibilità di piccoli fenomeni di distacco e caduta di blocchi.

Sono comprese in questa categoria le aree già interessate o potenzialmente interessate direttamente dai fenomeni sia le aree che potrebbero esserne coinvolte in modo indiretto.

8.1.f. - Aree poco acclivi e/o potenzialmente interessate direttamente/indirettamente da problemi di stabilità

Aree disposte su pendii aventi inclinazione media dell'ordine di 10 - 30°, caratterizzate in genere dalla presenza di una coltre di depositi superficiali, principalmente di origine eluviale o colluviale, con frazione fine apprezzabile e poco addensati. Queste aree sono potenzialmente soggette a fenomeni di degradazione superficiale e localmente sono già interessate da forme leggere di reptazione o da erosione da ruscellamento per quanto riguarda i depositi superficiali o distacco di frammenti per degradazione degli affioramenti rocciosi. E' quindi necessario che in queste aree si operi con attenzione nel caso di interventi che possono influenzare od essere influenzati dalle condizioni di stabilità dei siti.

8.1.g. - Aree interessate da fenomeni di valanga con pericolosità da media ad elevata

Queste aree comprendono i settori di versante che sono stagionalmente interessati da fenomeni di valanga. Le aree comprendono le zone di distacco delle masse nevose, le zone percorse dalle masse nevose in movimento e le zone di arresto. L'entità dei fenomeni e conseguentemente l'estensione delle aree dipendono dalle condizioni meteo-climatiche annuali ed è stata fatta una perimetrazione indicativa, ma relativamente ampia. Le zone di distacco corrispondono in buona parte al tratto superiore del versante del monte Pora e della Croce di Vareno mentre le zone di transito e di arresto coincidono con i ripidi canali che solcano il versante nel suo tratto intermedio.

8.1.h - Aree potenzialmente interessabili da fenomeni di valanga con pericolosità bassa

Queste aree comprendono i settori di versante relativamente acclivi che possono essere interessati, in funzione delle condizioni meteo-climatiche annuali, da fenomeni di valanga. Le aree comprendono le zone di distacco delle masse nevose, le zone percorse dalle masse nevose in movimento e le zone di arresto, con una perimetrazione relativamente ampia ed indicativa. Le aree sono localizzate in corrispondenza del tratto del versante del monte Pora sovrastante il Colle di Vareno.

8.1.i. - Aree a pericolosità potenziale per caduta di blocchi rocciosi

In questa categoria sono state considerate le situazioni favorevoli al verificarsi di fenomeni franosi di crollo e ribaltamento e sono stati distinti diversi gradi di pericolosità, in relazione sia alla probabilità di accadimento del fenomeno sia alla posizione rispetto alla parete di origine dei fenomeni di caduta dei blocchi.

Per le aree urbanizzate e le loro adiacenze, la valutazione della pericolosità è stata ripresa direttamente dallo studio del maggio 2005, **così come descritto al capitolo relativo (capitolo)** mentre per le aree esterne alle zone urbanizzate la valutazione della pericolosità è stata invece fatta su base morfologica, in riferimento allo stato di attività delle pareti rocciose e degli accumuli sottostanti, dedotto dal grado di fratturazione degli ammassi rocciosi, dalla evidenza di fenomeni di distacco recente e dal grado di colonizzazione degli accumuli, integrata localmente con valutazioni di carattere empirico sull'espansione dei blocchi in caduta secondo la relazione proposta da Focardi.

- Aree sorgente: corrispondono alle pareti rocciose interessate in modo diretto dal distacco dei blocchi rocciosi.

- Aree di accumulo a pericolosità maggiore: corrispondono alle zone di accumulo vicine alla base delle pareti rocciose, dove la probabilità di essere interessate da fenomeni di caduta è maggiore e le energie sono più alte per cui si ha una pericolosità da molto alta a media. Tra queste rientrano anche le aree poste sul fondovalle del Dezzo lungo la SP294 ed individuate come pericolose per la caduta di blocchi – Zona 1 e Zona 2 - da uno studio condotto per conto della Regione Lombardia nell'ambito del Piano Straordinario per aree a rischio idrogeologico molto elevato relativo alla L. 267/98.
- Aree potenzialmente interessabili da caduta di blocchi, a pericolosità bassa: corrispondono alle zone di accumulo distanti dalle pareti rocciose, dove la probabilità di essere interessate da fenomeni di caduta è minore e le energie sono contenute per cui si ha una pericolosità quantomeno bassa rispetto ai fenomeni.
- Fasce esterne delle aree potenzialmente interessabili da caduta di blocchi, a pericolosità molto bassa: queste aree sono state definite solo per le zone urbanizzate, sulla base della ricostruzione delle traiettorie di caduta dei blocchi, e corrispondono alle zone di accumulo più distanti dalle pareti rocciose, dove la probabilità di essere interessate da fenomeni di caduta e le energie in gioco sono minime e si ha pertanto una pericolosità molto bassa.

Nello schema seguente è riportata la corrispondenza tra le classi di sintesi utilizzate, le classi di pericolosità, ottenute secondo lo Studio del maggio 2005 per le zone urbanizzate e valutate su base morfologica per il resto del territorio comunale, e la corrispondenza con le classi di fattibilità

CLASSI DI SINTESI	Classi di pericolosità	Classi di fattibilità
Aree sorgente	H5-H4	4
Aree di accumulo a pericolosità maggiore	H5-H4-H3	
Aree potenzialmente interessabili da caduta di blocchi	H2	3
Fasce esterne delle aree potenzialmente interessabili da caduta di blocchi a pericolosità molto bassa	H1	2

Rispetto alla situazione riscontrata nello studio geologico del maggio 2005 è stata modificata localmente la perimetrazione relativa ad un settore posto a valle delle pareti rocciose situate alla base del versante sinistro nella zona di Mazzunno, a monte di via Bregno, dove è stato realizzato nell'anno 2008 un tratto di barriere paramassi a difesa dei fabbricati esistenti. In ragione della presenza della barriere le aree poste a valle di esse, precedentemente considerate in parte a pericolosità media, sono state declassate a pericolosità bassa.

Altre opere di difesa, interventi di consolidamento in parete e barriere paramassi, sono state realizzate a protezione della SP294 lungo la forra del torrente Dezzo, compresa nelle aree a rischio idrogeologico molto elevato definite nell'ambito della L. 267/98: gli interventi eseguiti hanno contribuito a ridurre in modo significativo la pericolosità delle aree interessate, ma è stata comunque confermata la valutazione della pericolosità complessiva.

8.2. - AREE POTENZIALMENTE INTERESSABILI DA ESONDAZIONE E TRASPORTO IN MASSA SU CONOIDE

La pericolosità geomorfologica delle aree dei conoidi alluvionali presenti nel territorio comunale di Angolo è legata alla possibilità che si verifichino fenomeni di esondazione e fenomeni di deposizione di colate detritico-fangose da parte dei vari torrenti interessati. La maggior parte dei conoidi significativi, a parte alcune piccole forme situate in Val Padone, si trova in corrispondenza del settore di fondovalle occupato dai nuclei abitati e le relative condizioni di pericolosità sono state valutate nello Studio Geologico del maggio 2005, al quale si rimanda per i dettagli.

Nella carta di sintesi sono state distinte le aree corrispondenti ai diversi gradi di pericolosità definiti secondo la classificazione individuata nelle procedure relative alla zonazione della pericolosità generata da colate di detrito e da trasporto in massa lungo i conoidi alpini.

8.2.a - Pericolosità molto alta (H5).

Comprende le aree corrispondenti all'alveo attuale con le sue pertinenze ed eventuali paleoalvei riattivabili in caso di piena ed eccezionalmente aree corrispondenti a porzioni di conoide. Per tutti i conoidi individuati corrisponde esclusivamente all'alveo attuale salvo per i piccoli conoidi presenti in val Padone dove non è stata individuata a causa della mancanza di un alveo ben definito.

8.2.b - Pericolosità alta (H4).

Comprende le aree con alta probabilità di essere interessate da fenomeni di erosioni di sponda e di trasporto in massa e/o di trasporto solido con deposizione di ingenti quantità di materiale solido e con danneggiamento di opere e manufatti.

Per alcuni dei maggiori conoidi in esame comprende dei settori di conoide esterni all'alveo mentre per i conoidi minori della Val Padone e per il conoide della valle di Fornaci comprende l'interno conoide.

8.2.c - Pericolosità media (H3).

Aree interessate in passato da eventi alluvionali e da erosioni di sponda documentati su basi storiche; aree con moderata probabilità di essere esposte a fenomeni alluvionali (esondazione) ed ad erosioni di sponda. In particolare si possono avere deflussi con altezze idriche ridotte (massimo 20-30 cm) e trasporto di materiale sabbioso-ghiaiosi.

In genere comprende i settori più vicini all'alveo dei conoidi maggiori.

8.2.d - Pericolosità bassa (H2).

Aree mai interessate nel passato da fenomeni alluvionali documentati su base storica o aree protette da opere di difesa idraulica ritenute idonee anche in caso di eventi estremi con basse probabilità di essere interessate da fenomeni di dissesto.

Comprende settori distali o laterali, relativamente distanti dall'alveo, dei conoidi maggiori.

Rispetto alle valutazioni condotte nell'ambito dello studio del maggio 2005 in questa sede è stata fatta una sola modificazione relativamente al conoide della Valle della Sessa, posto a monte dell'abitato di Angolo, perchè successivamente ad un evento di piena avvenuto nell'estate 2008 è stata realizzata una vasca di sedimentazione subito a monte di via Bilinghera, in corrispondenza del punto a partire dal quale il corso d'acqua scorre entro una tubazione coperta. La presenza della vasca di sedimentazione ha consentito di ridurre l'estensione della fascia di maggiore pericolosità a valle di essa che ora comprende solo la sede stradale di via Bilinghera mentre prima si estendeva un poco oltre fino a comprendere la prima abitazione a valle di essa.

8.3. - AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA IDROGEOLOGICO

8.3.a. - Aree con forme carsiche di superficie ed interessate da carsismo profondo

Queste aree comprendono la zona del Pian delle Città ed il fondo della vicina Val Sorda, interessate dalla presenza diffusa di forme carsiche di superficie relativamente ampie, doline ed inghiottitoi, che sono sicuramente connesse alla presenza di fenomeni carsici profondi quali condotti e grotte. Le forme carsiche di superficie sono tuttora interessate da circolazione d'acqua e dal procedere dei fenomeni di dissoluzione e così di conseguenza anche le forme sepolte. Queste aree potrebbero quindi essere soggette ad un ampliamento delle forme esistenti eventualmente accompagnato da fenomeni di sprofondamento.

8.3.b - Aree con forme carsiche di superficie, potenzialmente interessate da carsismo profondo

Queste aree comprendono un settore del fianco sinistro della Val Sorda ed alcune zone poste in prossimità di Malga Guccione e Malga Morosini, interessate dalla presenza locale di depressioni riconducibili a fenomeni carsici di superficie per i quali non si hanno evidenze di attività di dissoluzione e che potrebbero essere connessi a cavità carsiche sepolte. La presenza di cavità sepolte, qualora fossero interessate attivamente da fenomeni di dissoluzione, potrebbe comportare il pericolo di sprofondamenti del terreno.

8.3.c. - Zone di Rispetto (ZR) delle captazioni pubbliche ad uso potabile

Aree soggette a particolari limitazioni d'uso del territorio perchè ubicate in settori potenzialmente connessi idrogeologicamente con acque sotterranee sfruttate a scopo potabile. In questa categoria rientrano le "Zone di Rispetto" delle sorgenti che servono l'acquedotto comunale di Angolo, sorgenti della Val di Sè, della Val Bassile e sorgenti Flaminia, e della sorgente Lanzoni che serve l'acquedotto comunale di Darfo Boario Terme. Tutte le rispettive Zone di Rispetto sono state individuate secondo il criterio geometrico, definite pertanto da un arco di circonferenza, con raggio di 200 m e centro nel punto di captazione, limitato a valle dall'isoipsa passante per il punto di captazione.

8.3.d. - Zone di Protezione (ZP) delle captazioni pubbliche ad uso potabile

Aree soggette a particolari limitazioni d'uso del territorio perchè ubicate in settori potenzialmente connessi idrogeologicamente con acque sotterranee sfruttate a scopo potabile. In questa categoria rientra la "Zona di Protezione" della sorgente Lanzoni, utilizzata dall'acquedotto comunale di Darfo Boario Terme, così come è stata definita nello Studio Geologico del maggio 2005. In particolare nello studio era stato messo in evidenza che il settore del Giogo della Presolana è idrogeologicamente in connessione con l'acquifero carsico sotteso dalla sorgente e che potrebbe di conseguenza essere connesso anche con la sorgente.

In via del tutto precauzionale, ed in accordo con una proposta fatta dallo scrivente nella relazione illustrativa di un'indagine geologica preliminare riguardante la sorgente Lanzoni, condotta per il comune di Darfo Boario Terme, nell'ambito dello Studio Geologico del maggio 2005, si era ritenuto di considerare come Zona di Protezione della sorgente Lanzoni il settore di versante posto idrograficamente a monte della sorgente, comprendente tutta l'area del Giogo e le linee di impluvio poste a valle di esso e della zona del Salto degli Sposi. Si era inoltre ritenuto di assimilare da un punto di vista normativo questa Zona di Protezione ad una Zona di Rispetto.

8.3.e. - Area di attenzione per le captazioni di acqua delle Terme di Angolo

Le Terme di Angolo sfruttano attualmente due pozzi situati nella piana di fondovalle del torrente Dezzo, in corrispondenza o quantomeno in prossimità delle scaturigini naturali delle acque minerali. Le acque minerali di Angolo sono legate ad un acquifero carsico che in base alle conoscenze attuali ha molto probabilmente, se non una connessione diretta, quantomeno un legame indiretto con la falda a pelo libero contenuta nelle alluvioni di fondovalle del Dezzo. Data la relativa importanza, anche a livello economico, che hanno a livello locale le acque minerali si è ritenuto necessario definire quantomeno un'area di attenzione per la loro salvaguardia. L'area di attenzione si estende su un tratto del fondovalle in prossimità dei pozzi, in corrispondenza dei depositi alluvionali, di conoide alluvionale e fluvio-glaciali presenti, ovvero dei settori che possono avere un legame idrogeologico diretto con la falda a pelo libero contenuta nelle alluvioni di fondovalle del fiume Dezzo e quindi che potrebbero avere anche un eventuale legame idrogeologico con l'acquifero delle acque minerali.

8.4. - AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA IDRAULICO

8.4.a. - Alvei principali ed impluvi minori e rispettive aree di pertinenza

Aree corrispondenti alla sede dei corsi d'acqua superficiali, alveo e relative sponde, dove avviene il deflusso delle acque in condizioni ordinarie. In ragione delle caratteristiche morfologiche dei corsi d'acqua presenti nel territorio in esame queste aree sono spesso interessate da fenomeni di erosione di fondo accompagnati in molti casi da forme di erosione laterale e pertanto, per i corsi d'acqua minori, le aree comprendono anche delle fasce più o meno estese poste esternamente alle sponde.

8.4.b. - Aree interessabili da fenomeni di erosione fluviale e non idoneamente protette

Aree prossime all'alveo dei corsi d'acqua soggette ad erosione a causa dell'azione della corrente, con opere di difesa idraulica longitudinali e/o trasversali ormai danneggiate per scalzamento al piede o prive di qualsiasi opera di regimazione idraulica. Queste aree sono state evidenziate in una categoria a parte solo per il torrente Dezzo, in corrispondenza delle scarpate di erosione incise nei depositi superficiali che occupano il fondovalle nella zona di Angolo, dove presentano un'estensione rilevabile alla scala della carta. Per gli altri corsi d'acqua, in ragione delle dimensioni ridotte, queste aree sono state accorpate alle aree relative all'alveo ed alle sponde.

8.4.c. - Aree potenzialmente inondabili individuate con criteri geomorfologici

Le aree alluvionali rappresentano quelle zone, prossime all'alveo dei corsi d'acqua, che per le loro caratteristiche topografiche possono essere facilmente raggiunte dall'acqua durante i fenomeni di esondazione. Le aree inserite in questa categoria si trovano a ridosso dell'alveo del torrente Dezzo principalmente nella zona tra Angolo e Mazzunno e corrispondono a strette zone golenali poste internamente alle anse, parzialmente raggiungibili dalle acque anche durante le piene ordinarie.

8.4.d. - Aree alluvionabili per eventi di piena con tempo di ritorno di 100-200 anni

Queste aree si trovano in corrispondenza della piana di fondovalle recente situata in sponda sinistra del torrente Dezzo, all'altezza di Angolo e Mazzunno, dove si trovano l'impianto di imbottigliamento e parte del parco e delle strutture ricettive e di cura delle Terme.

La valutazione della pericolosità dei fenomeni di esondazione in queste aree è stata fatta nell'ambito dello Studio Geologico del maggio 2005 sulla base di verifiche idrauliche condotte su alcune sezioni di rilievo e di una stima della portata di massima piena. Le verifiche avevano messo in evidenza condizioni di criticità con la portata stimata per un tempo di ritorno di 100 anni per la sezione posta all'altezza dell'estremità est dell'impianto di imbottigliamento, mentre la sezione posta più a monte, all'altezza dell'estremità ovest dell'impianto, era risultata in grado di fare defluire una portata di poco inferiore alla massima portata stimata per un tempo di ritorno di 200 anni. Nel corso del 2005 in questo tratto del torrente Dezzo sono stati eseguiti degli interventi, svasso locale della sezione d'alveo, soglie di fondo e opere di difesa di sponda ad integrazione di quelle esistenti, che hanno modificato le condizioni locali di deflusso migliorandole.

In questa sede è stata mantenuta prudenzialmente la valutazione precedente rimandando ad una nuova verifica da condurre sulla base di un rilievo topografico aggiornato del tratto di torrente in esame.

8.4.e. - Aree alluvionabili per piene catastrofiche (tempo di ritorno superiore a 200 anni)

Sono state inserite in questa categoria le zone più esterne, più distanti dall'alveo, della piana di fondovalle del torrente Dezzo compresa tra Angolo e Mazzunno ed altri piccoli settori di piana posti a ridosso dell'alveo lungo tratti del torrente posti più a monte, in particolare nella zona della confluenza della Valle di S. Giovanni e della centrale idroelettrica posta nel tratto inferiore della forra. Queste aree sono potenzialmente alluvionabili solo in occasione di eventi di piena a carattere catastrofico, con tempi di ritorno superiori a 200 anni.

8.4.f. - Specchio d'acqua

Oltre all'area occupata dal lago Moro sono state inserite in questa categoria le aree occupate da due pozze perenni che occupano il fondo di depressioni da escavazioni glaciali presenti in corrispondenza dei rilievi posti a ridosso del lago Moro.

8.5. - AREE CHE PRESENTANO SCADENTI CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

8.5.a. - Aree con riporti di materiale

In queste aree la presenza di materiale di riporto può comportare l'insorgere di problematiche di carattere geotecnico relativamente ad eventuali disomogeneità di composizione e di addensamento del deposito. Queste problematiche possono essere superate con relativa facilità sulla base di indagini di approfondimento delle caratteristiche geotecniche del materiale. Gli accumuli maggiori di materiale di riporto presenti nel territorio comunale sono rappresentati da materiale derivante da lavori stradali, sia scavi di sbancamento sia scavi in galleria.

8.5.b. - Aree con terreni aventi caratteristiche geotecniche scadenti

Aree caratterizzate dalla presenza di terreni fini a granulometria limoso-argillosa a comportamento geotecnico scadente, caratterizzati da una permeabilità bassa o molto bassa, con resistenza al taglio bassa o fortemente sensibile al contenuto d'acqua e compressibilità elevata. In genere si tratta di aree in cui sono presenti dei depositi glacio-lacustri. In alcune zone alla presenza di questi terreni si associa anche la presenza, stagionale o perenne, di ristagni d'acqua sulla superficie topografica oppure dalla venuta a giorno in modo diffuso di acque sotterranee.

8.5.c. - Aree con terreni aventi caratteristiche geotecniche mediocri

Aree caratterizzate dalla presenza di terreni a granulometria relativamente fine e poco addensati, in genere depositi glaciali o fluvioglaciali fini, caratterizzati da un comportamento geotecnico mediocre, con una permeabilità bassa, bassa resistenza al taglio ed alta compressibilità.

8.6. – PIANO STRAORDINARIO PER LE AREE A RISCHIO IDROGEOLOGICO MOLTO ELEVATO (L. 267/98)

8.6.a. - ZONA 1 / ZONA 2

Aree individuate come pericolose per la caduta di blocchi da uno studio condotto per conto della Regione Lombardia nell'ambito del Piano Straordinario per aree a rischio idrogeologico molto elevato relativo alla L.

267/98. Le aree sono situate su un tratto del fondovalle del torrente Dezzo lungo la SP294, nel tratto in forra conosciuto anche come via Mala. Le aree sono classificate con grado di pericolosità maggiore per la ZONA 1, relativa ad aree instabili o che presentano un'elevata probabilità di coinvolgimento, in tempi brevi, direttamente dal fenomeno e dall'evoluzione dello stesso, e minore per la ZONA 2, definita come potenzialmente interessata dal manifestarsi di fenomeni di instabilità coinvolgenti settori più ampi di quelli attualmente riconosciuti o in cui l'intensità dei fenomeni è modesta in rapporto ai danni potenziali sui beni esposti.

Queste aree sono state recentemente interessate da interventi di protezione della sede stradale, con bonifica e consolidamento locali delle pareti rocciosi e con opere di difesa della sede stradale che hanno portato ad una significativa diminuzione della pericolosità complessiva.

In questa sede non è comunque stata modificata la valutazione sul grado di pericolosità.

FASE DI PROPOSTA

9. CARTA DELLA FATTIBILITÀ' GEOLOGICA DELLE AZIONI DI PIANO - CARTA DEI RISCHI IDRAULICI ED IDROGEOLOGICI - NORME GEOLOGICHE DI PIANO

Le Norme Geologiche di Piano sono state definite in riferimento alla Carta della Fattibilità Geologica delle Azioni di Piano che è stata redatta sulla base dell'esame degli aspetti geologici complessivi rappresentati nella cartografia, con particolare attenzione alla Carta dei Vincoli ed alla Carta di Sintesi (Tavola 3 e Tavola 4), ed è

finalizzata a fornire indicazioni generali in merito alla destinazione d'uso delle aree, alle cautele da adottare per gli interventi, agli studi ed alle indagini da effettuare per gli eventuali approfondimenti, alle opere di riduzione del rischio ed alla necessità di controllo dei fenomeni presenti.

Nello Studio Geologico del maggio 2005 la Carta della Fattibilità è stata redatta, alla scala 1:2.000, per le sole aree urbanizzate ed un loro intorno significativo: in questa sede la Carta della Fattibilità è stata estesa, alla scala 1:10.000, a tutto il territorio comunale.

Per quanto riguarda le zone urbanizzate la carta della fattibilità redatta nel settembre 2009 ha sostanzialmente confermato, salvo pochi aggiornamenti locali dovuti a variazioni successive, le valutazioni relative alla carta del maggio 2005.

Per quanto riguarda le aree esterne alla zona urbanizzate la carta relativa al presente aggiornamento in data febbraio 2010 contiene piccole variazioni rispetto alla carta del settembre 2009, introdotte in seguito ad approfondimenti di carattere locale così come descritto nel paragrafo relativo alla carta di sintesi, dalla quale deriva direttamente la carta di fattibilità.

Le definizioni di ciascuna classe di fattibilità, le indicazioni di carattere generale per lo svolgimento delle indagini necessarie alla valutazione della fattibilità dei singoli interventi e la descrizione dei fattori limitanti rispetto alla destinazione d'uso delle singole aree sono riportati nell'**Elaborato B - Norme Geologiche di Piano**.

Con il presente studio è stata aggiornata anche la Carta dei rischi idraulici ed idrogeologici con legenda uniformata a quella della cartografia delle aree in dissesto del PAI (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino del fiume Po). Questa carta deriva da una traduzione in aree di dissesto, secondo una legenda definita dall'Autorità di Bacino, delle situazioni messe in evidenza dall'analisi morfologica del territorio: a queste aree corrisponde una specifica normativa che si sovrappone a quella relativa alla fattibilità geologica con prevalenza della norma più restrittiva.

In questa sede è stata sostanzialmente confermata la Carta dei rischi idraulici ed idrogeologici contenuta nello Studio Geologico del maggio 2005, con alcuni aggiornamenti relativi sia alle situazioni che hanno subito successivamente delle variazioni significative sia ad un maggior dettaglio dovuto ad un approfondimento di indagine su alcune situazioni sia ad una revisione dei criteri utilizzati per l'attribuzione delle aree alle categorie previste dalla legenda.

Le variazioni più evidenti rispetto alla carta contenuta nello studio del maggio 2005 sono le seguenti:

- inserimento delle valanghe in modo areale, considerando per esteso le zone di alimentazione e non solo le incisioni entro le quali si incanalano e si arrestano le masse nevose;
- non sono stati più considerati come conoidi non recentemente riattivati o comunque completamente protetti da opere di difesa (Cn) i settori antichi e morfologicamente relitti dei conoidi alluvionali presenti nella zona di Angolo - Valle di S. Giovanni, Re Barzino, Valle Bassile e Valle di Sè -;
- sono state assegnate alla categoria delle frane quiescenti (Fq) non solo i settori di parete rocciosa interessati frequentemente da fenomeni di caduta di blocchi e le zone dove si possono espandere questi fenomeni,

come nella carta del maggio 2005, ma anche i settori di parete rocciosa potenzialmente interessati dai fenomeni di caduta di blocchi e le relative zone di espansione che, nella carta del maggio 2005, erano stati in parte assegnati alla categoria delle frane stabilizzate (Fs); sono state invece tolte dalla classe delle frane stabilizzate (Fs) alcuni i settori di falde detritiche non più attive;

Per il resto sono state apportate piccole modificazioni locali al perimetro delle aree sia grazie al rilievo di maggiore dettaglio finalizzato a valutare la fattibilità geologica delle aree sia in seguito ad effettive variazioni delle condizioni morfologiche locali come la riattivazione, l'ampliamento o la comparsa di fenomeni franosi oppure l'esecuzione di opere di consolidamento o di difesa.

L'individuazione delle aree in dissesto fatta in questa sede non è definitiva, ma potrà essere modificata, con le modalità e procedure definite dalla Regione Lombardia, in seguito ad eventuali interventi di sistemazione o di difesa o al verificarsi di nuovi fenomeni di dissesto che comportino una variazione delle condizioni di pericolosità.

Dr. geol. Fabio Alberti

Ha collaborato:

dr. geol. Francesco Bosio

Darfo Boario Terme, febbraio 2009.

10. - BIBLIOGRAFIA

- 1) Amministrazione Provinciale di Brescia - Piano generale di bonifica montana dell'alto bacino del Fiume Oglio - Suppl. Comment. Ateneo di Brescia, Brescia 1967.
- 2) Assereto S., Casati P. - Carta geologica del versante settentrionale della bassa Val Camonica tra Lovere e Breno - Milano 1996.
- 3) ASTM - Classification of soils for engineering purposes - 1975.
- 4) Aulitzky. - H. Hazard Mapping and Zoning in Austria Methods and legal implications - 1994.
- 5) Autorità di Bacino del fiume Po - Parma - Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Interventi sulla rete idrografica e sui versanti (Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6-ter). - Tavole Di Delimitazione Delle Fasce Fluviali, Norme di Attuazione – 2001
- 6) Bacchi, Mariani, Rossini, Armanelli, Ranzi - Analisi e sintesi delle piogge intense del territorio bresciano - Università degli Studi di Brescia 1999.
- 7) Berruti G. - Levandosi i fiumi sopra le rive- ed. Grafo, 1999.
- 8) Boni A., Cassinis G. - Carta geologica delle Prealpi Bresciane a sud dell'Adamello. Note illustrative della legenda stratigrafica. - Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, n. 23, Pavia 1973.
- 9) C. N. R. - Carta tettonica delle Alpi Meridionali.- Pubbl. n. 441 Progetto Final. Geodin., Roma 1981.
- 10) Castiglioni G.B. - Geomorfologia.- ed. UTET, Torino 1979.
- 11) Ceriani M., Fossati D., Quattrini S. - Valutazioni della pericolosità idrogeologica sulle conoidi alpine: esempio della metodologia di Aulitzky applicata alla conoide del torrente Re di Gianico. XXVI Convegno di Idraulica e costruzioni idrauliche, Catania, 9-12 settembre 1998.
- 12) Civita M. - Idrogeologia applicata ed ambientale. - Casa editrice Ambrosiana, 2005.
- 13) D.lgs. 3 aprile 2006 n. 152 - G.U. n. 88 del 14/04/06, Suppl. Ord. n. 96.
- 14) D.M. 14 gennaio 2008 - Approvazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni.- Gazz. Uff., n. 29 del 04/02/2008.
- 15) D.P.R. 24 maggio 1988, n. 236: attuazione della direttiva CEE n. 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano, ai sensi della legge 16 aprile 1987, n. 183 - Suppl. ord. Gazz. Uff., n. 152, 30/06/1988.
- 16) Decreto del Capo del Dipartimento della protezione civile del 21 ottobre 2003 "Disposizioni attuative dell'art. 2, commi 2, 3 e 4, dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003" - G.U. n. 252 del 29 ottobre 2003
- 17) Deliberazione Giunta Regionale 10 Aprile 2003 - n. 7/12693 - Decreto legislativo 11 Maggio 1999, n. 152 e successive modifiche, art. 21, comma 5 - Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque sotterranee destinate al consumo umano. - BURL s.o. n. 17 del 22 aprile 2003.
- 18) Franzoni O. - "Per castigo di Dio". Note per una mappa delle calamità in Valle Camonica (secoli XIII-XIX) -

- 19) Geo.Te.C. Studio Associato – Studio geologico di supporto alla pianificazione urbanistica - Comune di Angolo Terme. maggio 2005.
- 20) Geo.Te.C. Studio Associato – Studio relativo all'individuazione del reticolo idrografico minore del comune di Angolo Terme - Comune di Angolo Terme, marzo 2004.
- 21) Gruppo Edison - Elaborazione dei dati idrologici del bacino dell'Oglio - 1953
- 22) Ordinanza PCM n. 3274 del 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 - G.U. n. 105, 8 maggio 2003, Suppl. Ord. n. 72.
- 23) Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006 - Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone - Gazz.Uff., anno 147, n. 108 del 11-05-2006
- 24) Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006 - Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone - Gazz.Uff., anno 147, n. 108 del 11-05-2006
- 25) Provincia di Brescia - Studio delle precipitazioni intense in Provincia di Brescia e verifica funzionale della rete pluviometrica esistente - Brescia, 1985.
- 26) Provincia di Brescia (Comitato d'intesa Brescia-Bergamo) - Piano generale di bonifica montana dell'alto bacino del fiume Oglio.- Suppl. Comment. Ateneo di Brescia, Brescia 1967.
- 27) Regione Lombardia - D.g.r. 10 Aprile 2003 - n. 7/12693 - Decreto legislativo 11 Maggio 1999, n. 152 e successive modifiche, art. 21, comma 5 - Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque sotterranee destinate al consumo umano. - BURL s.o. n. 17 del 22 aprile 2003.
- 28) Regione Lombardia - D.g.r. 20 Dicembre 2001- n. 7/7365 - Attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del fiume Po (PAI) in campo urbanistico. Art. 17, comma 5, della legge 18 maggio 1989 n. 183. - Boll. Uff. della Reg. Lomb. - anno XXXI, n. 314, 2001.
- 29) Regione Lombardia - D.g.r. 22 Dicembre 2005 n. 8/1566 - Criteri ed indirizzi per la componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n.12 - BURL - anno XXXVI, n. 14, 19 gennaio 2006, 3° Suppl. Straordinario.
- 30) Regione Lombardia - D.g.r. 27/06/1996 n. 6/1537 in riferimento all'art. 9, punto 1, lett. f, del D.P.R. 24/05/1988 n. 236 -Direttive per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle captazioni di acque sotterranee, pozzi e pozzi e sorgenti, destinate al consumo umano.
- 31) Regione Lombardia - D.g.r. 28 Maggio 2008 n. 8/7374 – Aggiornamento dei “Criteri ed indirizzi per la componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n.12” approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 - BURL - anno XXXVIII, n. 120, 12 giugno 2008, 2° Suppl. Straordinario al n°24.
- 32) Regione Lombardia - D.g.r. 29 marzo 2006 n. 8/2244 approvazione del Programma di tutela e uso delle acque, ai sensi dell'art. 44 del d.lgs. 152/99 e dell'art. 55, comma 19 della l.r. 26/2003 – BURL anno XXXVI, n. 80, 2° suppl. straord. - 23 aprile 2006.

- 33) Regione Lombardia - D.g.r. 29 Ottobre 2001- n. 7/6645 - Approvazione direttive per la redazione dello studio geologico ai sensi dell'art. 3 della l.r. 41/97 - Boll. Uff. della Reg. Lomb. - anno XXXI, n. 294, 2001.
- 34) Regione Lombardia - D.g.r. n 7/14964 del 7 Novembre 2003 - Disposizioni preliminari per l'attuazione dell'OPCM n°3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"- Boll. Uff. della Reg. Lomb. - anno XXXIII, n. 275, 2003.
- 35) Regione Lombardia - D.g.r. n 8/1566 del 22 Dicembre 2005 - Criteri ed indirizzi per la componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n.12 - Boll. Uff. della Reg. Lomb. - anno XXXVI, n. 14, 2006.
- 36) Regione Lombardia - Decreto dirigente dell'unità organizzativa n. 19904/03 21/11/2003 - Approvazione elenco tipologie degli edifici e opere infrastrutturali e programma temporale delle verifiche di cui all'art. 2, commi 3 e 4 dell'ordinanza p.c.m. n 3274 del 20 marzo 2003, in attuazione della d.g.r. n° 14964 del 7 Novembre 2003 - Boll. Uff. della Reg. Lomb. - serie ordinaria, n. 49 del 1/12/2003.
- 37) Regione Lombardia - L.r. 11 marzo 2005 n. 12 - Legge per il governo del territorio - BURL. - anno XXXV, n. 69, 16 marzo 2005, 1° Suppl. Ordinario.
- 38) Regione Lombardia - L.r. 14 luglio 2006 n. 12 - Modifiche ed integrazioni alla legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 "legge per il governo del territorio". - BURL 18 luglio 2006, n. 29, 1° suppl. ord.
- 39) Regione Lombardia, Direzione Generale Territorio ed Urbanistica, Struttura Rischi Idrogeologici - Inventario delle frane e dei dissesti idrogeologici della Regione Lombardia - 2002.
- 40) Rotondo G. - Nascita e sviluppo del termalismo in Valle Camonica - in "L'uomo e l'acqua" - Banca di Valle Camonica - Breno, 2002.
- 41) Servizio Geologico d'Italia - Carta Geologica d'Italia. Scala 1:100.000. Foglio n. 34, Breno; Roma 1970.
- 42) Servizio Geologico d'Italia - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia. Foglio n. 34, Breno. - Roma 1971.
- 43) Tagliavini S., Ferretti G. et Alii - Studio geo-ambientale del bacino del torrente Re di Gianico - Istituto di geologia Università degli Studi di Pavia, Provincia di Brescia, Comunità montana di Valle Camonica. 1990.
- 44) Terzaghi K. - Soil Mechanics in Engineering Practice - 1967.