



Dott. Geol. Ermanno Dolci
O.G.L. n° 333

COMUNE DI PALADINA

Prevenzione del rischio
geologico, idrogeologico e sismico
mediante strumenti urbanistici
e loro varianti

COMUNE DI PALADINA

(PROV. DI BERGAMO) 22

APPROVATO CON DELIBERA N. _____

SCITTA
DAL CONSIGLIO COMUNALE

IN DATA DEL 20 SET. 2001

Segretario Comunale

Sindaco

- relazione tecnica -

Sede Legale:
Via G. D'Annunzio, 9
24127 Bergamo

Uffici:
Via Scotti, 20
24122 Bergamo
Tel. (035) 321668
Tel. e Fax (035) 321663

Data: Febbraio 2001

Responsabile tecnico: dott. geol. Ermanno Dolci - O.G.L. n° 333
Collaboratore: dott. geol. Alessandro Longhi - O.G.L. n° 996

DELIBERA DI APPROVAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE
N. VII/10502 DEL 30 SETTEMBRE 2002

APPROVATO AI SENSI DEL 1° COMMA
DELL'ART. 13 DELLA L.R. 23/1997



PUBBLICATO SUL B.U.R.L. N. 46 DEL 13 NOVEMBRE 2002

INDICE

1.0	PREMESSA	4
2.0	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	6
3.0	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, GEOMORFOLOGICHE E GEOPEDOLOGICHE	8
3.1	LINEAMENTI GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICI	8
3.1.1	CARATTERISTICHE DELLA SCARPATA E DISTRIBUZIONE DEI DISSESTI	25
3.2	LINEAMENTI GEOPEDOLOGICI GENERALI	29
3.2.1	PEDOLOGIA DI DETTAGLIO	32
4.0	CARATTERI IDROLOGICI E IDROGEOLOGICI	34
4.1	LINEAMENTI IDROLOGICI	34
4.2	LINEAMENTI IDROGEOLOGICI	36
4.2.1	PERMEABILITÀ E VULNERABILITÀ	38
5.0	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI	41
6.0	SISMICITÀ	44
7.0	INQUADRAMENTO METEOCLIMATICO	46
7.1	ANALISI E COMMENTO DEI DATI	46
7.1.1	PRECIPITAZIONI E REGIME PLUVIOMETRICO	46
7.1.2	TEMPERATURE E REGIME TERMICO	52
7.1.3	CLASSIFICAZIONE CLIMATICA	57

ELENCO ALLEGATI GRAFICI

NUMERO	TITOLO	SCALA
1A	carta geomorfologica con elementi litologici	1:5.000
1B	carta geopedologica	1:5.000
2A	carta idrogeologica e delle vulnerabilità	1:5.000
2B	sezione geologica - idrogeologica	1:2.000 (h)/1:1.000 (v)
3	carta di prima caratterizzazione geotecnica	1:2.000
4A	carta di sintesi	1:5.000
4B	carta dei vincoli	1:5.000
5	carta di fattibilità geologica e classi di fattibilità	1:2.000

ELENCO FIGURE

NUMERO	TITOLO	SCALA
1	carta geologica	1:100.000
2A÷2F	stratigrafie sondaggi geognostici e pozzi	-

7.1.4	VENTI E REGIME ANEMOMETRICO	58
7.1.5	EVAPOTRASPIRAZIONE E BILANCIO IDRICO	61
7.1.6	CURVE DI POSSIBILITÀ CLIMATICA	64
8.0 LA CARTA DI SINTESI		72
9.0 REGIME VINCOLISTICO		73
10.0 CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO E CLASSI DI FATTIBILITÀ		76
10.1	GENERALITÀ	76
10.2	CLASSI DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA	77
Principali fonti bibliografiche		86

1.0 Premessa

La Regione Lombardia con D.G.R. 18 maggio 1993 - n° 36147, ribadita nella parte introduttiva della D.G.R. 6 agosto 1998 - n. 6/37918, stabilisce che "La geologia è in grado di offrire al processo progettuale finalizzato ai diversi livelli della pianificazione del territorio un contributo di fondamentale importanza. Essa è infatti un supporto essenziale, correlata ad altre discipline, per fornire la spinta propulsiva ad una effettiva crescita culturale finalizzata alla individuazione delle potenzialità e vocazioni del territorio, anche al fine della prevenzione del rischio idrogeologico, sismico ed ambientale. Si configura inoltre come uno degli strumenti peculiari per una equilibrata gestione dei processi e delle risorse naturali ed ambientali rapportati all'urbanizzazione.".

La L.R. 24 novembre 1997 - n° 41 stabilisce, al suo art. 1, che "ai fini della prevenzione del rischio geologico, idrogeologico e sismico, i comuni provvedono a verificare la compatibilità fra le previsioni urbanistiche e le condizioni geologiche dei territori interessati...". Su tale base il Comune di Paladina ha incaricato il sottoscritto di predisporre un'indagine geologica del proprio territorio comunale, secondo quanto prescritto dai "Criteri ed indirizzi relativi alla componente geologica della pianificazione comunale, secondo quanto disposto dall'art. 3 della legge regionale 24 novembre 1997 - n. 41" approvati con D.G.R. 6 agosto 1998 - n. 6/37918, nonché tramite l'utilizzo, nella realizzazione degli elaborati grafici, delle legende approvate con D.G.R. 15 gennaio 1999 - n° 6/40996.

L'indagine geologica ha riguardato l'area comunale di Paladina inquadrandola, per una corretta impostazione metodologica, in un contesto più generale e si è sostanzialmente articolata in tre fasi:

- 1) fase di analisi, in cui attraverso rilievi di campagna, nonché tramite l'ausilio della fotointerpretazione e l'esame critico di dati tratti da letteratura specializzata, sono state caratterizzate l'area ricompresa nel perimetro comunale di Paladina e le porzioni territoriali al di fuori dei limiti amministrativi del comune stesso, ritenute significative, soprattutto per ciò che concerne gli aspetti idrologici e idrogeologici. Tale fase ha portato alla redazione della cartografia di inquadramento in scala 1:5.000 (su base

C.T.R. ingrandita), prevista al punto 3.2.1 della D.G.R. 6 agosto 1998, n. 6/37918. A tal proposito si sottolinea che, per quanto concerne la parte geomorfologico-litologico-pedologica, la cartografia, al fine di ottenere elaborati più chiari e facilmente leggibili, è stata così suddivisa: **AII. 1A** - *carta geomorfologica con elementi litologici* e **AII. 1B** - *carta geopedologica* in vece della carta geomorfologica con elementi geopedologici prevista al punto 3.2.1.a della suddetta D.G.R.;

- 2) fase di valutazione, in cui, anche tramite la redazione di una carta geologico-applicativa di dettaglio (punto 3.2.2 della D.G.R. 6 agosto 1998 - n. 6/37918) si è giunti alla redazione della carta di sintesi (punto 4.1 della suddetta D.G.R.), in scala 1:5.000, avente lo scopo di fornire un quadro sintetico dello stato del territorio esaminato; al fine di passare ad una successiva fase propositiva, tramite la valutazione incrociata degli elementi in essa contenuti con i fattori ambientali ed antropici propri del territorio esaminato;
- 3) fase propositiva, che ha condotto alla zonazione del territorio esaminato in funzione dello stato di pericolosità e rischio geologico, idrogeologico e sismico presenti, nonché alla specificazione delle prescrizioni di natura geologico-applicativa che dovranno essere recepite nelle Norme Tecniche di Attuazione del Piano (punto 6.7 della D.G.R. 6 agosto 1998, n. 6/37918).

Si sottolinea infine come la D.G.R. 6 agosto 1998 - n. 6/37918, nella sua parte introduttiva, specifichi che quanto indicato nella presente relazione e negli elaborati grafici che la accompagnano "non devono in nessun modo essere considerati sostitutivi delle indagini geognostiche di maggior dettaglio prescritte dal D.M. 11 marzo 1988 per la pianificazione attuativa e per la progettazione esecutiva".

2.0 Inquadramento geografico

Il territorio comunale di Paladina è situato nell'alta pianura terrazzata in prossimità dello sbocco della valle Brembana, in sinistra idrografica del fiume Brembo e risulta interessato dai dolci rilievi dell'estremità nordoccidentale dei colli di Bergamo.

Più precisamente, il territorio comunale in esame è delimitato a N dal Comune di Almè, a NE da quello di Sorisole, a E dal Comune di Bergamo, a S da quello di Valbrembo ed infine a W da Almenno S. Bartolomeo. Esso è ricompreso nella seguente cartografia ufficiale:

- Foglio n° 33 - "Bergamo" - della carta dell'IGM in scala 1:100.000;
- Foglio n° 97 - "Vimercate" - della carta dell'IGM in scala 1:50.000;
- Foglio C5 - "Bergamo" - della C.T.R. in scala 1:50.000;
- Tavoletta 33 III S.E. - "Bergamo" - in scala 1:25.000;
- Sezioni C5a2 e C5b2 della C.T.R. in scala 1:10.000;
- rilievo aerofotogrammetrico, utilizzato come base topografica per la redazione delle carte di dettaglio.

L'area comunale è compresa fra le seguenti coppie di coordinate Gauss-Boaga:

- 1.554.530÷1.556.810 E;
- 5.063.320÷5.064.970 N;

ha una superficie pari a circa 2,04 km² (da calcoli sulla planimetria fotogrammetrica digitale risulta però una superficie pari a 2,118 km²) ed una quota s.l.m. compresa fra i 360 m ca., raggiunti nella zona collinare, e i 230 m ca. nella piana prospiciente il fiume Brembo.

Dal punto di vista della viabilità l'area in esame è interessata da un'unica direttrice viaria principale, la S.P. 153, che attraversa il territorio comunale con direzione grosso modo nord-sud.

COMUNE DI PALADINA

Prevenzione del rischio geologico, idrogeologico
e sismico mediante strumenti urbanistici e loro varianti

Dott. Geol. Ermanno Dolci
O.G.L. n° 333

3.0 Caratteristiche geologiche, geomorfologiche e geopedologiche

3.1 Lineamenti geologico-geomorfologici

Per ciò che concerne la geomorfologia si è inteso mettere in evidenza, al di là delle implicazioni di tipo geologico-applicativo che verranno trattate in seguito, le peculiarità del paesaggio morfologico, cercando di individuare, dove possibile, i legami intercorrenti tra paesaggio, fenomeni geomorfologici e formazioni geologiche. A tal fine ci si è basati sulle informazioni dedotte da un'apposita campagna di rilevamento sul terreno. Lo scopo di tale analisi è stato quello di individuare le forme del paesaggio e di trasferirle sulla base topografica (**All. 1A - carta geomorfologica con elementi litologici**). Forme esistenti, talvolta, non vengono segnalate a causa del loro scarso rilievo giacché in pianura i dislivelli sono molto esigui.

L'assetto morfologico del territorio esaminato riflette quello geologico (**Fig. 1**, stralcio Carta Geologica della Lombardia del Servizio Geologico Nazionale) e può essere sinteticamente descritto suddividendo lo stesso in quattro zone caratteristiche:

- 1) *zona collinare*: nel settore nord-orientale del comune, caratterizzata dalla presenza della dorsale dei colli di Bergamo avente un'orientazione NW-SE e dove si raggiunge la culminazione massima (359.6 m s.l.m.) di tutto il territorio comunale. Tale dorsale costituisce, assieme ai colli di Pontida, Montello/Costa di Mezzate, Trescore B. e al M. Orfano nel bresciano, le ultime propaggini dell'edificio delle Prealpi Orobie. Tutte queste culminazioni sono costituite dall'affioramento del substrato roccioso che, nel caso specifico, risulta essere costituito dai litotipi appartenenti a formazioni del Cretaceo superiore, essenzialmente di natura torbiditica, e costituite da arenarie, conglomerati, marne e calcari che si presentano in alternanze, a banchi e strati;
- 2) *Livello Fondamentale della Pianura (L.F.d.P.)*: costituente il ripiano subpianeggiante su cui sorge l'abitato principale di Paladina è costituito da depositi fluvioglaciali legati alla glaciazione würmiana ed è delimitato ad oriente dai già citati rilievi collinari e ad occidente dalla scarpata morfologica che conduce alla località Ghiaie. Tale settore ha un'altimetria compresa all'incirca fra i 278÷279 m s.l.m., nella sua porzione nord orientale, e i 267÷268 m s.l.m., nelle vicinanze del ciglio della suddetta scarpata ed

è interessato da un terrazzo morfologico avente decorso grosso modo N-S e dislivelli di 2÷3 m ca.. L'inclinazione di tale ripiano è di circa l' 1÷1.5% da nord a sud e dell'1.5÷2% da est verso ovest. L'inclinazione verso occidente è da collegarsi alla vicinanza del fiume Brembo la cui azione erosiva nel corso dei tempi ha inciso il livello della pianura, mentre l'inclinazione verso sud costituisce il gradiente morfologico regionale medio della porzione di pianura in esame;

- 3) *scarpata morfologica di separazione fra gli abitati di Paladina e Ghiaie*: ha un decorso nord-sud e genesi legata alla formazione del sistema terrazzato che il fiume Brembo ha prodotto in epoca postglaciale, tramite un alternarsi di fasi erosive e deposizionali. Vari ordini di terrazzi, infatti, attuano il raccordo fra il Livello Fondamentale della Pianura ed il corso attuale del fiume stesso e la scarpata rappresenta l'orlo più esterno di tale sistema, posizione in virtù della quale la si può datare come la più antica dell'intero complesso. Essa ha avuto origine da un'intensa fase erosiva postglaciale del fiume Brembo che ha interessato la sua sponda idrografica sinistra fino a produrre una scarpata, al piede della quale si sono accumulate falde di detrito. Tali falde, per lo più stabilizzate, hanno inclinazione elevata (ca. 50°), mentre l'inclinazione delle pareti della scarpata varia da poco più di 50° fino alla sub-verticalità. La sua altezza è variabile ed in alcuni punti raggiunge i 30 m; inoltre essa risulta essere interessata da diffusi e frequenti fenomeni di instabilità che portano alla formazione di frane e dei conseguenti accumuli di materiale al piede della stessa. Dal punto di vista litologico risulta costituita da litotipi appartenenti alla formazione dei Flysch di Bergamo nella sua porzione base, cui seguono, verso l'alto, depositi appartenenti al Ceppo del Brembo e poi al L.F.d.P.;
- 4) *ripiano alluvionale*: costituisce la porzione più occidentale del territorio comunale, è delimitato a ovest dal corso del fiume Brembo, è caratterizzato da un andamento sub-pianeggiante (debole inclinazione verso sud pari a circa lo 0.2%) con quote comprese all'incirca fra 230 e i 240 m s.l.m. ed è costituito dai depositi alluvionali recenti ed antichi del fiume Brembo.

Le rocce costituenti il settore collinare sono, come si vedrà più approfonditamente in seguito, databili al Cretaceo superiore e riconducibili ai sistemi torbiditici terrigeni (Flysch di Pontida, Arenarie di Sarnico, Conglomerato di Sirone e Flysch di Ber-

gamo) che si sviluppano in discordanza sulle unità precedenti. Tali sistemi costituiscono quattro sequenze deposizionali delimitate da discontinuità marginali e formano una successione di corpi cuneiformi, allungati in direzione E-W, che tendono a chiudersi verso N e NE, ove sono sostituiti da discontinuità stratigrafiche, spesso corrispondenti a nicchie di distacco di imponenti scivolamenti sottomarini. Il legame fra la deposizione di questi sistemi torbiditici e l'orogenesi eoalpina vede, nella più moderna interpretazione (*Bersezio e Fornaciari, 1994*), un loro sviluppo controllato contemporaneamente dalla strutturazione tettonica delle aree sorgenti e dalla tettonica sinsedimentaria che coinvolge il Sudalpino occidentale ed i margini del Bacino Lombardo.

Per il resto l'area in esame deve le sue attuali caratteristiche litologiche superficiali e morfologiche agli eventi che l'hanno interessata negli ultimi 6 milioni di anni, ossia a partire dal Pliocene superiore. Tali eventi si sono così schematicamente susseguiti:

- sedimentazione, al di sopra del substrato pre-quadernario, di depositi continentali fluvio-lacustri, di pianura costiera e deltizi, dal pliocene superiore fino al pleistocene inferiore;
- sedimentazioni di origine anaglaciale dovute alle varie glaciazioni riconosciute;
- sedimentazioni alluvionali ed erosioni di origine cataglaciale.

Le prime deposizioni continentali sono rappresentate dalla cosiddetta unità "Villafranchiana" e sono costituite da argille, limi e sabbia fine. Queste argille hanno una struttura a varve, stratificazione orizzontale e fungono da substrato impermeabile sul quale si sono andati poi ad impostare i più permeabili depositi fluvioglaciali ed alluvionali. A tetto dei depositi Villafranchiani si trova una formazione di potenza anche considerevole, composta da arenarie e conglomerati talora fortemente cementati, talora invece passanti a ghiaie e sabbie sciolte dalle quali tale formazione, definita "Ceppo", ha preso origine. Posteriormente alla deposizione del "Ceppo" si ha la deposizione di una vasta coltre di depositi fluvioglaciali intervallata da erosioni e deposizioni alluvionali legate alle fasi cataglaciali.

Il sottosuolo del territorio comunale di Paladina e di un suo adeguato intorno risulta perciò costituito da depositi di ambiente continentale attribuibili al Quaternario. Tale Periodo risulta caratterizzato da numerosi mutamenti climatici che hanno indotto varie pulsazioni glaciali (fasi anaglaciali) intervallate da fasi più temperate (fasi cataglaciali) che grazie al loro clima sono state sede di fenomeni pedogenetici. Fino a pochi anni orsono venivano distinte le seguenti glaciazioni terziario-quadernarie, dalla più antica alla più recente: Biber (Terziario), Donau (fine del Terziario), Gunz, Mindel, Riss e Würm (tutte e quattro nel Quaternario), separate da fasi cataglaciali. Studi successivi hanno portato a distinguere dopo il limite magnetostratigrafico Mathuyama/Brunes, posto a circa 730.000 A, almeno otto differenti fasi anaglaciali. Fra di esse solo l'ultima, che ha avuto il suo massimo circa a 18.000 A, viene fatta coincidere con la glaciazione würmiana della tradizionale nomenclatura alpina. Proprio tale fase anaglacialia ha portato alla deposizione di quello che viene definito come Fluvioglacialia recente o Würmiano, di età pleistocenica superiore, che costituisce il Livello Fondamentale della Pianura (L.F.d.P.) e su cui si imposta buona parte del territorio comunale di Paladina.

In un ambito più di dettaglio l'area è caratterizzabile, dal punto di vista litologico, grazie alla Carta Geologica della Provincia di Bergamo (utilizzato come fonte cartografica, modificata sulla base di rilevamenti geologici di campagna, per la realizzazione della *carta geomorfologica con elementi litologici - AII. 1A*) di recente pubblicazione, che grazie alla sua moderna impostazione consente un'analisi geologica di maggior dettaglio distinguendo, a livello di quaternario ed anche a livello delle singole unità fluvio-glaciali tradizionali, numerose nuove unità legate alla litologia ed alla provenienza bacinale dei depositi.

Qui di seguito si riporta la descrizione delle unità presenti nell'area le cui aree di affioramento sono riportate nell'*AII. 1A - carta geomorfologica con elementi litologici*:

DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

➤ **Unità Postglacialia (Pleistocene superiore - Olocene)** [119d, 119df]

Nell'area in esame risulta costituita da depositi alluvionali e da depositi lacustri con superficie limite superiore caratterizzata da Entisuoli.

I primi vengono ulteriormente distinti in funzione delle aree di influenza dei principali corsi d'acqua, al fine di cogliere al meglio le caratteristiche distintive, e in funzione di particolari situazioni deposizionali, che possono essere ricondotte alla sedimentazione fluviale olocenica. Nell'area in esame tali depositi risultano essere sempre incassati all'interno delle incisioni fluviali scavate dai torrenti glaciali durante l'ultima espansione glaciale e sono separati dalle alluvioni fluvioglaciali da orli di terrazzo con dislivelli spesso superiori ai 10 m. Essi sono organizzati in una serie di terrazzi posti a differente quota e la cui distinzione viene fatta su base pedologico-morfologica. La loro litologia superficiale è in genere molto variabile e presenta un'alternanza di zone ghiaiose con zone a ghiaia molto scarsa o addirittura assente. La composizione petrografica dei depositi situati lungo i corsi d'acqua principali (Adda e Brembo), a monte della loro confluenza, risulta essere uguale a quella delle analoghe unità di età precedente (U. di Cantù per l'Adda, U. di Treviglio del Complesso del Brembo per il Brembo). A valle della confluenza del Brembo nell'Adda invece si riscontra un dominio petrografico, e quindi deposizionale, brembano, probabilmente a causa degli effetti di regimazione fluviale che il lago di Como esercita sull'Adda. La differenziazione pedologica ha permesso la separazione dei suddetti terrazzi la cui superficie limite superiore è caratterizzata da prevalenti Alfisuoli poco espressi (c), solitamente posti immediatamente sotto dei terrazzi delle unità del pleistocene superiore, da quelli caratterizzati da prevalenti Inceptisuoli e da Entisuoli (cg), che si rinvengono a quote leggermente più elevate di quelle degli alvei attuali. Nel caso specifico sono presenti nell'incisione del fiume Brembo e costituiscono la piana alluvionale su cui sorge l'abitato di Ghiaie. Da dati stratigrafici (ved. più avanti in questo paragrafo) tali depositi sono costituiti essenzialmente da ghiaie e sabbie fino alla profondità di circa 12 m a cui si rinviene il substrato roccioso di natura fly-schoide.

I depositi lacustri sono legati alla presenza, ai margini dell'alta pianura, di rilievi alquanto articolati che hanno creato condizioni favorevoli all'instaurarsi di bacini legati allo sbarramento fluviale di valli laterali. Nel territorio di Paladina si rinvengono, a NE della dorsale dei colli, depositi lacustri del bacino di Petosino, delimitato a Nord, Est e Sud da rilievi cretacei e ad ovest dai depositi fluvioglaciali dell'Unità di Brembate. I sedimenti risultano costituiti da alternanze, da decimetriche a metriche, di argille limose e ghiaie con clasti locali costituiti da calcari, arenarie cretacee e selci giurassi-

che. Analisi sedimentologiche testimoniano un'alternanza fra periodi di deposizione fluviale e periodi di sedimentazione per decantazione, mentre la petrografia delle ghiaie, con presenza di calcari marnosi cretacei alla base e di selci giurassiche negli orizzonti sommitali, evidenzia un progressivo approfondimento del livello di erosione nell'area di alimentazione. La profondità del bacino nella sua porzione centrale è di circa 22 m, mentre rinvenimenti paleontologici (*Elephant primigenius*) e archeologici (manufatti dell'età del bronzo) portano a pensare ad un bacino ad evoluzione prolungata, cominciata nel Pleistocene medio (età dei depositi di sbarramento) e proseguita fino all'Olocene.

Le coltri dell'Unità postglaciale hanno iniziato a depositarsi non appena è cominciata la fase di ritiro glaciale e sono tuttora in via di deposizione. Tale Unità risulta perciò spiccatamente diacrona ed in alcuni settori è difficilmente distinguibile dai contemporanei depositi glaciali. L'età è quindi Pleistocene superiore - Olocene e in assenza di possibili relazioni dirette con i ghiacciai o con i depositi ad essi correlati la loro età è attribuibile tramite l'osservazione del loro stato di alterazione o sui loro rapporti con i depositi attuali.

➤ **Complesso del Brembo - Unità di Treviglio (Pleistocene superiore) [80]**

Rappresentata da depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie a supporto clastico, con matrice sabbiosa e sabbioso-limosa e ciottoli arrotondati prevalentemente discoidali aventi dimensioni medie di 2÷10 cm e massime di 45 cm., con assenza di copertura loessica. La stratificazione è grossolana. Nelle sequenze sommitali delle porzioni meridionali dell'Unità si osservano ghiaie sabbiose a supporto di matrice, stratificate, oppure strati e lenti sabbiose a laminazione interna oppure ancora gradazione diretta da ghiaie a limi. Sulle sequenze ghiaiose sono inoltre presenti anche spessori decimetrici di limi a raro scheletro diffuso, in situazione di troncatura erosionale; poiché ad essi non è associabile alcuna morfologia particolare sono interpretati come limi di esondazione. Localmente si rinviene una debole cementazione che può interessare spessori metrici di ghiaie che sembrano ricadere nel campo petrografico riscontrato per corpi sedimentari di origine abduana, con un campo di variabilità piuttosto ristretto, caratterizzato da una netta prevalenza di rocce carbonatiche seguite da rocce sedimentarie terrigene e in misura inferiore da rocce endogeno-metamorfiche.

Il tipo pedologico medio sviluppatosi alla sommità dell'unità è un Alfisuolo avente uno spessore massimo dell'orizzonte Bt pari a circa 80, con un valore medio di 45 cm. la sommità dell'orizzonte C, in assenza di troncature erosionali da parte di depositi fluviali olocenici, raggiunge i 100 cm, con punte massime di 150 cm. In alcuni profili gli Alfisuoli sono troncati da limi a loro volta interessati da pedogenesi: si riscontrano sia orizzonti cambici prevalenti, che argillici poco evoluti. La percentuale di scheletro registra un aumento costante lungo i profili che vengono a cadere prevalentemente nella classe granulometrica scheletro franca, mentre la pietrosità superficiale tende a diminuire spostandosi verso sud. Sulla superficie modale dell'unità sono anche presenti suoli meno sviluppati (Inceptisuoli), alcuni dei quali sono riconducibili in modo più o meno evidente a paleoalvei, mentre altri sono di interpretazione problematica.

L'Unità affiora lungo una fascia avente una larghezza massima di circa 4,5 km sviluppata prevalentemente in sinistra idrografica del Brembo e limitata da scarpate con dislivelli fino a 10 m. In essa sono anche ricompresi i più alti terrazzi distribuiti lungo l'incisione dei fiumi Adda e Brembo e la sua superficie modale, coincidente con la superficie della pianura risulta essere debolmente articolata da una serie di convessità di bassissima evidenza morfologica. Tali forme sono interpretabili come tracce diffuse di corsi d'acqua di tipo braided connessi geneticamente alla piana dalla quale si elevano. Questa Unità rappresenta il conoide edificato dalle alluvioni brembane connesse all'ultima espansione glaciale e agli eventi successivi che contrassegnarono le fasi di ritiro glaciale. Per quanto riguarda Paladina l'Unità costituisce una sottile fascia disposta parallelamente al ciglio della scarpata principale, a monte dello stesso.

Nella parte settentrionale e centrale dell'area di affioramento l'Unità terrazza, ricoprendo in discordanza, i sedimenti clastici cementati del Conglomerato di Madonna del Castello e del ceppo del Brembo, i depositi fluvioglaciali dell'Unità di Brembate e, in sponda destra tra Ponte S. Pietro e Brembate, quelli dell'Unità di Carvico. Più a sud essa risulta a sua volta debolmente incisa dall'Unità di Cantù, mentre al suo limite meridionale viene suturata, senza essere troncata erosionalmente, dai depositi palustri e fluviali dell'Unità Postglaciale. Sembra inoltre possibile riconoscere più corpi sedimentari nell'ambito dell'Unità organizzati in sistemi di terrazzi ed aventi identici caratteri pedologici.

Il Complesso del Brembo è l'espressione sedimentaria dei grandi ghiacciai che hanno occupato le vallate alpine durante l'ultima fase glaciale ed in particolare in pianura l'Unità di Treviglio, caratterizzata dall'assenza di coperture loessiche, è attribuibile al Pleistocene superiore anche in assenza di datazioni geocronologiche.

➤ **Unità di Brembate (Pleistocene medio) [78]**

Costituita da depositi fluvioglaciali e alluvionali rappresentati da ghiaie a prevalente supporto clastico, con matrice limoso-argillosa, ciottoli di dimensioni medie di circa 10 cm, arrotondati, di forma discoidale ed ellissoidale. La stratificazione è solo accennata e sub-orizzontale; la superficie superiore delle ghiaie è fortemente ondulata, con lunghezza d'onda metrica, erosionale ed è suturata da limi e argille massivi con spessori variabili fra 0,5 e 2,5 m. L'analisi tessiturale di alcuni limi provenienti dall'eteropica Unità di Torre Boldone ha evidenziato una curva granulometrica (sabbia 20%, limo 40%, argilla 40%) che si adatta complessivamente a quella dei loess alterati differenziandosene solamente per il maggior contenuto in sabbia fine, la sua origine è quindi, almeno per una parte dei limi, eolica. La presenza di ciottoli e clasti diffusi o organizzati in orizzonti discreti è inoltre indice di processi di risedimentazione che hanno interessato in più occasioni, questi sedimenti. La pedogenesi interessa i sedimenti limosi e ghiaiosi fino ad almeno 5,3 m. Dal punto di vista petrografico è da sottolineare la comune assenza di carbonati (anche sotto forma di fantasmi argillificati), mentre abbondano litotipi brembani tipici, quali arenarie del Verrucano Lombardo, vulcaniti e vulcanoclastiti della Formazione del Collio, ed in quantità minori sono presenti elementi del basamento cristallino Sudalpino.

Si nota una certa differenziazione pedologica fra limi e ghiaie. In queste ultime i caratteri pedologici sono estremamente omogenei con presenza di argilla illuviale in quantità elevate fino a 5,5 m, matrice limoso-argillosa moderatamente rubefatta, alterazione molto debole o assente, quantità di scheletro sensibilmente costante lungo il profilo (>70%) che ricade nella classe granulometrica scheletro franca. I limi sommitali invece, a testimonianza delle loro differenti origini e età presentano una minor uniformità nelle loro caratteristiche pedologiche: presenza di orizzonti sia cambici, che argillici, raramente con carattere di fragipan; lo scheletro, costituito da ciottoli subarrotondati con diametro medio di 2 cm e da clasti subspigolosi millimetri-

ci sparsi, si mantiene sempre u valori estremamente bassi per cui la granulometria cade nella classe franca. La pietrosità superficiale è assente o moderata.

L'unità mostra una forte asimmetria nello sviluppo areale fra la destra e la sinistra Brembo. In destra idrografica costituisce una ristretta fascia delimitata quasi sempre da nette scarpate con dislivelli di 3÷15 m. In sinistra idrografica si espande assumendo una forma vagamente triangolare risultando delimitata, nella sua parte occidentale, da orli di terrazzo netti fino all'altezza di Treviolo, mentre più a sud tali terrazzi si annullano gradualmente con i suoi depositi dell'Unità che continuano verso sud per parecchi chilometri a livello della pianura, senza più evidenze morfologiche. A Paladina costituisce gran parte dell'area subpianeggiante, su cui sorge gran parte dell'abitato. Nelle parti più settentrionali sono distinguibili, all'interno della superficie modale, blandi e discontinui terrazzamenti ai più elevati dei quali sembrano associati profili pedologici più evoluti. L'Unità testimonia una fase di aggradazione della pianura dovuta all'edificazione di una piana fluvio-glaciale, probabilmente plurifasica, legata ad un'espansione dei ghiacciai brembani nel tardo pleistocene medio.

Allo sbocco della Val Brembana l'Unità incide il meno elevato sistema di terrazzi del Complesso di Almenno e ricopre in discordanza il Conglomerato di Madonna del Castello e il Ceppo del Brembo. Essa viene a sua volta terrazzata dall'Unità di Treviglio e, nella sua parte occidentale in sponda destra Brembo, dall'unità di Carvico e dai depositi fluviali del Complesso di Palazzago. A est passa, con limite eteropico all'Unità di Torre Boldone del bacino del Serio e più a sud è ricoperta in assoluta continuità morfologica dall'Unità di Comun Nuovo e da quella Postglaciale.

La presenza costante di depositi eolici e lo sviluppo pedogenetico portano ad attribuire l'unità al Pleistocene medio.

➤ **Ceppo del Brembo** (*Pleistocene superiore (?) - Pleistocene inferiore*) [70]

Unicamente costituito da depositi alluvionali dati da conglomerati a prevalente supporto clastico e da conglomerati arenacei al limite fra supporto clastico e di matrice, con ciottoli da arrotondati a subarrotondati. Entrambi presentano caratteri estremamente grossolani nella parte più settentrionale con dimensione media di 25÷30 cm e massima superiore al metro, mentre verso sud le dimensioni decrescono fino ad una media di circa 10 cm ed ancora più a sud fino a 2÷3 cm. Anche le strutture sedimentarie variano con la latitudine: verso nord i conglomerati paiono preferenzial-

mente organizzati in grossolani strati suborizzontali, mentre nelle aree più meridionali prevale una stratificazione incrociata planare più definita. Compaiono inoltre con una certa frequenza lenti e strati arenacei a prevalente stratificazione incrociata planare. Nelle parti basali si hanno lenti siltose e siltoso-argillose di spessore e lunghezza metrica con gusci di molluschi continentali, in genere intercalate a livelli conglomeratici e con struttura interna laminata o massiva. La composizione petrografica evidenzia affinità orobica definendo, rispetto al Ceppo dell'Adda, un campo di esistenza caratterizzato da una maggior quantità di rocce endogeno-metamorfiche (16÷46%) e complessivamente con tenori più bassi di rocce sedimentarie terrigene (8÷38%). Tra queste ultime prevalgono arenarie e conglomerati a cemento silicico del Verrucano Lombardo che, assieme alle vulcaniti del Collio, assumono il ruolo di litologie diagnostiche del Ceppo del Brembo. Queste litologie, e in misura minore, le rocce cristalline permettono una ulteriore suddivisione in un corpo con bassa concentrazione (2÷7%) di Verrucano e Collio e contenuti medio-bassi di rocce endogeno-metamorfiche (11÷31%) e in un altro corpo con valori più elevati di arenarie silicee e vulcaniti (20÷41%) e un più basso contenuto in rocce cristalline (0÷20%). Questi corpi avendo una distribuzione areale ben definita: il raggruppamento più basso in Verrucano e Collio costituisce l'intero spessore del ceppo del Brembo affiorante lungo l'Adda fino all'altezza di Suisio e le parti più sommitali delle aree più orientali e meridionali (Chignolo, Madone, Trezzo d'Adda in sponda destra Adda), mentre l'altro costituisce il corpo affiorante lungo il Brembo e lungo l'Adda, a sud di C.na San Giuliano (Suisio). Questa netta diversificazione degli affioramenti fa sì che sia possibile associare ad essi un significato paleogeografico: essi sono interpretati infatti come l'espressione sedimentaria della fase di massima aggradazione plio-quadernaria in ambiente prealpino. Ed entrambi evidenziano affinità petrografiche orobiche, ma due differenti bacini di alimentazione nella catena: un conoide alimentato direttamente dalla Val Brembana, si estendeva ad ovest fino all'allineamento Almenno/Mapello/Suisio dove entrava in coalescenza con un altro conoide, proveniente probabilmente dalla Valsassina. La sedimentazione è stata chiusa, nelle aree prossime al limite fra i due conoidi, da passate di provenienza valsassinense che hanno in parte ricoperto il corpo principale del conoide brembano.

I caratteri pedologici sono stati desunti da osservazioni effettuate nell'area del fiume Adda in quanto in area brembana le porzioni sommitali del conglomerato sono generalmente troncate, per grossi spessori, da depositi fluvioglaciali più recenti ed inoltre dove ciò non si verifica si riscontrano caratteri sostanzialmente analoghi a quelli abduani. Le porzioni più elevate dell'Unità sono interessate da un forte sviluppo di suoli in cui le ghiaie pedogenizzate sono in contatto con i conglomerati tramite limiti estremamente irregolari ed articolati, con formazione di pinnacoli e pilastri conglomeratici, di dimensioni metriche, che penetrano nel soprastante orizzonte B. La continuità di strutture, che talora è possibile riconoscere tra i nuclei inalterati e il circostante materiale pedogenizzato, evidenzia come i processi pedogenetici si siano sviluppati a partire da un unico paleosoma. Il limite è posto a profondità di 6-13 m rispetto alla sommità dei terrazzi supportati del Ceppo del Brembo ed al di sopra di esso le ghiaie si presentano estremamente alterate e rubefatte, con totale lisciviazione dei carbonati sia a livello di matrice che di scheletro e con grande sviluppo di patine di argilla illuviale. Quasi sempre le ghiaie sono troncate erosionalmente per spessori superiori ai 3,5 m dai depositi fluvioglaciali dell'Unità di Medolago, a sua volta pedogenizzati.

In zona brembana l'Unità ricopre in discordanza il Conglomerato di Madonna del Castello, la Formazione del Tornago e il substrato. Risulta a sua volta troncata e suturata dai depositi fluvioglaciali dell'Unità Postglaciale, dell'Unità di Treviglio, dell'Unità di Brembate e dalle propaggini meridionali di quella di Carvico, mentre non sono definiti i suoi rapporti con il Complesso di Almenno. In area abduana il Ceppo del Brembo ricopre, con limite netto, il Ceppo dell'Adda ed in sinistra Adda la, sua natura erosiva non risulta del tutto evidente, ma, per la stretta analogia litostratigrafica con il Conglomerato di Madonna del Castello e sulla base quanto osservato in riva destra, si può ritenere di essere in presenza di due unità cronologicamente distinte, in rapporto di discordanza. A sua volta il Ceppo del Brembo è stato profondamente inciso e suturato dai conglomerati del Ceppo Poligenico (*Pleistocene medio*) che hanno riempito una paleoforra parzialmente coincidente con la gola attuale ed intagliato da vari ordini di terrazzi riconducibili all'Unità Postglaciale ed a quelle di Cantù, di Carvico e di Medolago. In area brembana non sono definibili i rapporti con una delle unità più antiche, quella di Sotto il Monte.

Per quanto riguarda Paladina gli affioramenti di Ceppo del Brembo si rinvengono lungo la scarpata che raccorda l'abitato principale con quello di Ghiaie, ove costituiscono la sua porzione altimetricamente intermedia. tali affioramenti si estendono poi verso sud ove tendono a costituire l'intera scarpata, qui avente altezze inferiori rispetto a quelle riscontrabili a Paladina, fino all'altezza di Briolo.

Sulla base dei suoi caratteri litostratigrafici e dei suoi rapporti con il Conglomerato di Madonna del Castello l'Unità viene attribuita al Pleistocene superiore (?) - Pleistocene inferiore.

➤ **Conglomerato di Madonna del Castello (Pleistocene superiore (?) - Pleistocene inferiore) [69]**

È costituito da depositi deltizi dati essenzialmente da conglomerati a supporto di matrice arenacea, con ciottoli subarrotondati di dimensioni centimetriche prevalenti, che originano letti mal definiti con spessori inferiori al metro. Essi si alternano con arenarie conglomeratiche in strati decimetrici, talora con laminazioni incrociate planari e, meno spesso, con arenarie laminate interdigitate a silt e argille, nella porzione meridionale dell'area di affioramento. I depositi sono caratterizzati dalla presenza di una stratificazione incrociata a grande scala, connessa a processi deposizionali primari (*foreset*) e sono interessati da una forte cementazione distribuita in maniera omogenea. La composizione petrografica è essenzialmente carbonatica, mentre le quantità di rocce metamorfiche e sedimentarie terrigene è decisamente subordinata. Tale unità affiora lungo l'incisione del torrente Tornago e lungo la sponda destra del Brembo, fra Almenno S. Salvatore e la località Cà Derocca del comune di Brembate Sopra. Nel comune di Paladina se ne rinvengono un limitato affioramento in corrispondenza dello spigolo nord-occidentale del territorio comunale, utilizzato come piano di posa di un traliccio di sostegno di un elettrodotto.

La Formazione struttura i terrazzi che formano il livello topografico della pianura fra lo sbocco della Val Brembana e Brembate Sopra. Essa testimonia l'edificazione di un delta che, dallo sbocco di un'incisione valliva, progrediva verso sud, evidenziando un ringiovanimento del rilievo, con maggior disponibilità di apporti clastici ed aumento dell'energia dei corsi d'acqua, probabile conseguenza di un sollevamento tettonico e/o di un inacidimento del clima del pliocene superiore. La limitata presen-

za di rocce cristalline e terrigene tipiche dell'alta Val Brembana evidenzia un bacino di alimentazione limitato alle porzioni più meridionali delle Orobie.

L'unità copre in discordanza le argille del Pliocene inferiore e medio della Formazione di Tornago e i depositi di spiaggia ghiaioso-arenacei ad esse riconducibili. Essa risulta a sua volta troncata dai conglomerati fluviali del Ceppo del Brembo e intagliata da terrazzi fluvioglaciali riferibili alle unità di Treviglio e Postglaciale.

La Formazione, sulla base dei rapporti con la Formazione di Tornago e per le microfane rinvenute in alcune intercalazioni pelitiche, è databile al Pliocene superiore.

SUBSTRATO ROCCIOSO

➤ *Flysch di Bergamo (Campaniano)* [55]

È una formazione costituita da tipiche alternanze di peliti e arenarie giallastre, in strati di spessore variabile e di origine torbiditica, che affiora al margine dei rilievi prealpini e forma buona parte dei versanti meridionali dei colli di Bergamo e del M. Canto, nonché una parte del M. Giglio. Non affiora direttamente nel territorio comunale di Paladina, ma poco distante dal suo limite sudorientale. Il suo limite inferiore è con i Conglomerati di Sirone e si presenta netto a Bergamo e graduale al M. Canto. Lo spessore della Formazione può essere stimato, tramite affioramenti nell'alta Brianza, in circa 800 m.

L'unità risulta notevolmente articolata sia in termini di geometria interna, che di stratificazione e le associazioni di facies più tipiche sono:

- a) depositi di piana bacinale: alternanze di peliti ed arenarie fini e medie, in strati da sottili a spessi, con superfici di stratificazione piano-parallele e con rapporto arenaria/pelite pari circa a 1. Gli strati arenacei sviluppano generalmente la sequenza di Bouma completa o troncata alla base e frequenti sono sia le impronte di fondo, che le bioturbazioni. Questa è l'associazione di facies maggiormente diffusa sia a Bergamo, sia al M. Canto;
- b) depositi di piana bacinale: alternanze di arenarie, fini e molto fini, e peliti, spesso con concrezioni calcaree al loro interno; stratificazione sottile piano-parallela e sequenze di Bouma troncate alla base. Tale associazione di facies si rinviene al M. Canto;

- c) depositi di lobo: orizzonti di spessore decametrico formati da arenarie medie e grossolane, massive o in bancate molto spesse con sottili intercalazioni pelitiche; le superfici di stratificazione sono irregolari e non parallele, con frequenti amalgamazioni. È presente sia al M. canto, sia a Bergamo;
- d) depositi legati a by-pass dei flussi torbiditici: alternanze di peliti e arenarie medie e grossolane, in strati da medi a spessi, generalmente piano-concavi, presenti al M.Canto.

L'età della Formazione è attribuita al Campaniano e i suoi depositi possono essere interpretati come aventi un'origine marina profonda legata ad un sistema torbiditico, caratterizzato da una complessa geometria interna, e sviluppatosi nel Cretaceo superiore nell'avanfossa prospiciente la nascente catena alpina, dalla cui erosione veniva alimentato, con apporti da N e NE.

➤ **Conglomerato di Sirone (Santoniano) [54]**

È formato da un'alternanza di corpi conglomeratici da medi a spessi, massivi, con intercalazioni arenacee torbiditiche da sottili a medie. I vari corpi hanno una geometria lenticolare e troncature erosionali alla base. Lo spessore è variabile da circa 150 m a 50-60 m e decresce spostandosi verso est. L'unità affiora estesamente e con una certa continuità lungo tutta la fascia di affioramenti cretacei della provincia di Bergamo. Non affiora direttamente nel territorio comunale di Paladina, ma a brevissima distanza da esso, sul fianco meridionale della dorsale dei colli, come i litotipi dei Flysch di Bergamo..

Il suo limite inferiore è netto a Bergamo e graduale al M. Canto, dove si ha la presenza di una litozona transizionale costituita da una successione torbiditica di natura arenacea fine con intercalazioni di peliti.

La successione del Conglomerato di Sirone è tipicamente caratterizzata dall'associazione di litofacies conglomeratiche, in corpi generalmente disorganizzati, dominanti nella porzione basale, che si associano, con maggior frequenza in quella sommitale, con alternanze arenaceo-pelitiche fini di origine torbiditica. I ciottoli dei corpi conglomeratici sono costituiti principalmente da quarzo, frammenti di rocce cristalline, dolomie, calcari pelagici e di piattaforma. Le paleocorrenti hanno un'orientazione N-S in Brianza e E-W in provincia di Bergamo.

➤ **Arenarie di Sarnico (Coniaciano) [53]**

Risulta tipicamente costituita da una alternanza di peliti e arenarie di colore grigio, in strati di spessore estremamente variabile, di natura torbiditica. Il suo areale di affioramento va dai colli di Bergamo, dove costituisce la parte altimetricamente più elevata del versante nord, al M. Canto, dove costituisce invece la dorsale spartiacque. Nel territorio di Paladina costituisce gran parte dell'apparato dei colli e la parte inferiore della scarpata che separa l'abitato principale da quello di Ghiaie, nel suo tratto centro settentrionale.

Il suo spessore è pari a circa 400 m ed è relativamente costante su tutta l'area di affioramento; il contatto con il sottostante Flysch di Pontida è sempre graduale ed è legato alla progressiva comparsa degli strati più spessi e grossolani delle Arenarie di Sarnico all'interno di quelli più sottili dell'unità precedente.

La Formazione si presenta essenzialmente con tre associazioni di facies presenti sia a Bergamo che al M. Canto, descritte di seguito in ordine di rappresentatività:

- a) depositi di piana di bacino: alternanza fra peliti grigie e arenarie fini e medie, massive, senza evidenti strutture interne, in strati a medi a spessi; base netta e contatto superiore arenaria/pelite netto; strati tabulari con superficie di stratificazione piano-parallele e rapporto arenaria pelite pari a 1;
- b) depositi fini marginali: alternanze di peliti ed arenarie fini, in strati sottili, talora medi, massivi o con sequenze di Bouma; laminazioni parallele, oblique e convolute e frequenti strutture di sfuggita d'acqua;
- c) depositi di lobo: orizzonti di arenarie medie e fini amalgamate in strati e banchi con potenze anche fino a 7÷8 m; gradazione assente o poco sviluppata, con isolati granuli alla base dei singoli episodi amalgamati, base e tetto dei banchi netti, con superfici di stratificazione parallele o leggermente convergenti alla scala dell'affioramento e presenza di frequenti strutture di sfuggita d'acqua.

L'età della formazione è stata attribuita al Coniaciano sulla base dell'analisi biostratigrafica del nannoplancton calcareo.

Le arenarie di Sarnico appartengono ad un sistema torbiditico, da attribuirsi allo sviluppo di un bacino di avampaese nella zona di retroarco della nascente catena alpina durante il Coniaciano, alimentato in maniera costante da oriente.