

**GEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN
AN DER ALPEN-APENNINGRENZE
IN LIGURIEN (ITALIEN)**

Von der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN
HOCHSCHULE IN ZÜRICH

zur Erlangung
DER WÜRDE EINES DOKTORS
DER NATURWISSENSCHAFTEN

genehmigte
PROMOTIONSARBEIT

vorgelegt von
PIERRE CRETТАZ
dipl. Ing. Geol. ETH
von Vex (Valais)

Referent: Herr Prof. Dr. R. Staub
Korreferent: Herr Prof. Dr. C. Burri

ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

1. Petrographie

Die Grüngesteine der Gruppe von Voltri wurden petrographisch genauer untersucht und beschrieben, wobei neben den Peridotiten verschiedene Serpentinabarten unterschieden werden konnten. Der erste Abschnitt dieser Arbeit ist besonders dem Gabbro und seinen Kontaktprodukten am Serpentin sowie den Kalksilikatfelsen gewidmet. Dabei stützte ich mich auf die Studien ROVERETOS (1891-1939), FRANCHIS (1892-1915), TARAMELLIS (1882-1904) und diejenigen von CONTI (1942 und 1944). Gute Vergleichsmöglichkeiten ergaben sich mit dem Wallis (ARGAND) und Graubünden (CORNELIUS, STAUB).

2. Stratigraphie

Die von ROVERETO besonders 1935 und 1939 aufgestellte Gliederung der penninischen Bündnerschiefer in zwei wohl unterscheidbare Serien — diejenigen der eigentlichen Calcescisti und jene der Serie von Montenotte — konnte in meinem Untersuchungsgebiet nicht aufrecht erhalten werden. Die Bündnerschiefer erlauben weder eine stratigraphische noch eine lithologische Aufteilung; hingegen findet sich eine Reihe petrographisch verschiedener Gesteinstypen. An der Basis der Bündnerschiefer werden Quarzitzüge ausgeschieden, die nach Vergleichen mit denjenigen der westlich benachbarten Turchino-Zone (die LOCHER näher untersucht) in die untere Trias gestellt werden müssen. Die z.T. mit deutlichen Schichtdiskordanzen darüber liegenden eigentlichen Bündnerschiefer stelle ich mit ROVERETO (Belemnitenfunde bei Mele!) und FRANCHI, sowie mit der Mehrzahl der schweizerischen Alpengeologen (seit Albert HEIM und STUDER) in den Lias, wobei aber nicht festgestellt werden kann, wie weit nach oben diese Serie reicht, da sie in der Gruppe von Voltri diskordant und plötzlich mit Oligozän bedeckt wird. Hingegen ergeben, wie bekannt, die Studien in den Alpen sowohl in der Haute Ubaye (FRANCHI, BLANCHET etc.) wie im Val de Bagnes oder in Bünden (CORNELIUS, STAUB) ganz deutlich ein vor-radiolaritisches, d.h. vor-oberjurassisches Alter der eigentlichen Schistes lustrés.

Im Bereich der Sestri-Voltaggiozone konnte die von STAUB angenommene Stratigraphie im Detail ausgearbeitet und näher präzisiert werden.

Die Trias läßt sich in Dolomite und Kalke, wahrscheinlich des Ladinien, in sicheres Carnien mit Breccien, Tonschiefer, Gips, Zeldolomite der Raiblerschichten, Norien mit Hauptdolomit — der seit 1919 von REPOSSI als fossilbelegt beschrieben wurde —, in bunte Mergel und fossilbelegtes Rhät (nach STAUB Kössenschiefer und oberrhätische Kalke) mit seinen Aequivalenten des *Calcare ceroid* (Lumachellen-Breccien) gliedern.

Der Jura umfaßt einen tieferen, dunkleren Tonschieferhorizont (von STAUB noch als Rhät bezeichnet), darüber die *Calcari a selce*, *Calcari lastroidi* und *Calcari a stratelli* des eigentlichen Lias und eine höhere kalkige Serie mit den *Calcari picchiettati*, Marmoren und Radiolaritgliedern des Oberrn Jura.

Die darin auftretenden Grüngesteine sind besonders häufig: Serpentin in den untern, Diabas und Serpentin in den oberrn Teilen. Die darüberliegenden dünnplattigen Kalke, Mergel- und Tonschiefer — nach STAUB durchaus saluerähnlich — mit ihren Argilloscisti und Diabas-, Spilit- und Radiolaritvorkommen, Argille scagliose und in den höheren Partien die galestri-ähnlichen Gesteinsfolgen stelle ich mit den italienischen Geologen *grosso modo* in die Kreide.

Im Osten des Polcevera- und Scriviatales unterschied ich an der Basis der eozänen Albereseformation galestri- und macigno-ähnliche Gesteine, die von den Scisti policromi überlagert werden. Diese Scisti policromi sind durchaus mit fossilbelegtem Unterem Eozän aus La Spezia zu parallelisieren. Damit ergibt sich für den Alberese mittel- bzw. obereozänes Alter, wie dies von ROVERETO schon 1922 festgestellt wurde und auch von STEINMANN schon seit langem angenommen worden war.

Die in großer Winkeldiskordanz darüberliegenden Oligozänkonglomerate und Pliozänände wurden hier nur der Vollständigkeit halber kurz behandelt.

3. Tektonik

Das von STEINMANN und ROVERETO, besonders aber von STAUB entworfene Großdeckenbild in Ligurien ist in ein ausgedehntes Schuppenwerk abzuändern; eine Erklärungsmöglichkeit, die auch von STAUB (1953) offen gelassen wurde.

Die Gruppe von Voltri muß als eine an sich wenig verfrachtete Masse angesehen werden, die aber durch die angeschobenen höheren Serien doch verschiefert worden ist. Die Bündnerschieferzone ihres Ostrand es läßt sich bezeichnenderweise in eine ganze Anzahl von

Schuppen-Repetitionen aufteilen, die über längere Strecken in Zusammenhang festgestellt werden können. Diese Bündnerschiefer-schuppen am Ostrand der Gruppe von Voltri sind als die Basis der Sestri-Voltaggiozone aufzufassen. Über das wirkliche Ausmaß der Verfrachtung der Gruppe von Voltri können erst neuere Untersuchungen im Gebiete um Savona und westlich davon nähern Aufschluß geben.

Die Sestri-Voltaggiozone ist durch eine Anzahl sich von S nach N ablösender Schuppenelemente mit unterostalpinen Faziesentwicklung charakterisiert. Der Kreideflysch, der schließlich diese Zone überlagert, läßt sich in ophiolithführenden tieferen (mittelostalpine Figogna-Einheit STAUBS 1942) und in ophiolithfreien höheren (Polvera-Tonschiefer ROVERETOS 1908) aufteilen und wird oben vom Eozänflysch des Nordapennins diskordant überdeckt (flache Albersesfalten über zerknittertem Kreideflysch).

Die konkrete Frage nach einer Alpen-Apenninggrenze kann dahin beantwortet werden, daß an der Linie Sestri-Voltaggio zwei voneinander grundverschiedene Schichtfolgen aneinander stoßen, wobei die östliche, d.h. jene des Apennins, sich den westlichen Serien der Gruppe von Voltri in einer komplizierten Schubzone aufchiebt.

4. *Schlußbemerkungen*

Die vorliegende Arbeit muß naturgemäß verschiedene Fragen und Probleme übergehen, die über den engeren Rahmen hinausgreifen und deren Lösung ein großes Vergleichsmaterial aus weiten Gebieten sowohl der Alpen wie des Apennins erforderten. So muß späteren Arbeiten in erster Linie die genauere Erfassung der Flyschstratigraphie im Nordapennin auf Grund mikrofossiler Studien und auch die weitere tektonische Gliederung des Gebirgslandes zwischen Scrivia und Bobbio überlassen werden.

Die Grüngesteine harren noch genauerer, chemisch-analytischer Untersuchungen. Auch detaillierte petrographische Studien über die mannigfachen Kontakterscheinungen an denselben wären sehr lohnenswert.

Schließlich ist mit der Detailkartierung in diesem enormen Gebiet kaum richtig begonnen worden, indem auch das erst 1942 erschienene Blatt Genova nur einen generellen Überblick vermittelt. Mit photo-geologischen Aufnahmen würde vielleicht manches besser abgeklärt, besonders die Morphologie dieses stark überwachsenen und bebauten Gebietes.

In dieser Arbeit liegt, wenigstens in großen Zügen, die Verbindung der Gruppe von Voltri, des letzten alpinen Ausläufers an der Mittelmeerküste, zum Nordapennin vor. Die Aufnahmen meiner Freunde T. LOCHER und C. KEREZ müssen noch ihren Teil zur Lösung des Gesamtproblems beitragen; gewisse Probleme jedoch werden wohl immer ein wohlgehütetes Geheimnis bleiben.

RIASSUNTO

Lo scopo di questo lavoro era di chiarire il problema del limite tra Alpi ed Appennino, problema che già dall'inizio dell'investigazione geologica in Liguria fu posto dai VIVIANI, PARETO e MAZZUOLI. La regione studiata si trova in Liguria, accavalcando la parte orientale del Gruppo di Voltri e l'inizio nord-ovest degli Appennini, ricoprendo una superficie di quasi 300 km².

Al nord di Genova le asse delle Alpi si avvicinano talmente agli Appennini che immediatamente si pone la questione se le Alpi passano negli Appennini o se esiste qui un limite stratigrafico o tettonico. Il presente studio comprende tre capitoli principali: la petrografia, la stratigrafia e la tettonica.

Petrografia (pag. 25-40)

Le rocce verdi del Gruppo di Voltri comprendono i ben noti peridotiti, peridotiti a enstatite e lherzoliti passando gradualmente o attraverso diversi stadi di metamorfismo alla roccia più specifica di tale gruppo, cioè alla serpentina. Quest'ultima può al suo turno essere raggruppata in diverse specie presentando al di fuori di caratteri macroscopici ben specifici tuttavia caratteri microscopici analoghi. I gabbri rappresentano nel Gruppo di Voltri, specialmente per la loro situazione talvolta in mezzo alle rocce verdi e talvolta a contatto colla copertura sedimentaria di quel massiccio, un'interesse particolare; a pagina 31-35 si trova una descrizione generale e valevole per i gabbri della Liguria. Questi gabbri passano alla serpentina per mezzo di rocce di contatto (pag. 36-37), cioè gabbro diallagico saussuritizzato, gabbro a diallagio e vesuviano. D'altronde i gabbri presentano anche delle serie di passaggio con i calcescisti (pag. 37). Oggetto di interesse sono le corneane di tipo calcareo-silicato (corneane a granato e vesuviano, corneane a diopside) e gli eclogiti.

Stratigrafia (pag. 41-97)

Nella regione studiata incontriamo due serie specificamente diverse. La prima comprende un triasico pochissimo sviluppato (solo con quarziti), un liasico rappresentato da calcescisti e la grande massa di rocce verdi che forma il Gruppo di Voltri. La seconda comprende una serie appenninica poco metamorfica con livelli andando dal triasico medio all'oligocene.

1. La sottodivisione fatta dal ROVERETO nel 1935 e 1939 nei calcescisti in una serie di calcescisti propriamente detta ed in una serie chiamata »di Montenotte« non può essere mantenuta in questa regione (vide pag. 78). I calcescisti non permettono una sottodivisione nè stratigrafica nè litologica. D'altronde i calcescisti presentano tutta una serie di diverse rocce metamorfiche come quarziti, quarziti scistosi a sericite, scisti argillosi sericitici, calcescisti, marmi calcarei, marmi siliceo, scisti sericitici a chlorite, scisti ad amfibole, talcoscisti, prasiniti calcarei, prasiniti ad epidote, scisti ad amfibole e granato e corneane. Questi diversi tipi possono trovarsi a qualunque livello della serie. Alla base di questi calcescisti troviamo i quarziti che rappresentano probabilmente il trias inferiore. I calcescisti soprastanti sono separati dai quarziti per mezzo di discordanze stratigrafiche talvolta ben visibili. Questa serie con le sue rocce verdi rappresenta senza dubbio come in gran parte delle Alpi il lias. Il limite superiore però non può essere determinato perchè la serie è bruscamente coperta dal ben noto oligocene trasgressivo.

2. Il triasico (Mte Gazzo, Isoverde e Voltaggio ecc.) comprende dolomie e calcari del ladinico, dolomie calcaree e breccie del carnico con i suoi scisti argillosi inferiori, il suo gesso e dolomie cavernose del raibliano. Al di sopra si trova la dolomia principale norica che dal 1919 è stata descritta fossilifera dal REPOSSI; le argille policolori ed il retiano fossilifero con equivalenti dei calcari ceroidi completano questa serie.

Il giurassico (area principalmente di Isoverde e Voltaggio) può essere suddiviso in una parte marnosa inferiore (retico dello STAUB), in calcari a selce, in calcari lastroidi ed in calcari a strattelli del liasico propriamente detto ed in una serie calcarea superiore con calcari picchiettati, marmi e rocce a radiolarie del giurassico superiore. Questa serie comprende nelle parti inferiori in abbondanza serpentine e nelle parti superiori diabase e serpentine (i penultimi specialmente in relazione con i radiolariti).

Il cretaceo comprende dal basso in alto: calcari finemente bancati, marne e scisti argillosi, argiloscisti, diabasi, spiliti e rocce a radiolarie, argille scagliose e nelle parti superiori argille galestrine. La mancanza assoluta di una macro- e micro-fauna in questa regione — eccezione fatta per i qualche macrofossili segnalati dallo SACCO — non permette una situazione esatta degli orizzonti. Nel est del Val Polcevera e della Scrivia, alla base della formazione detta »del alberese eocenico«, si distingue rocce del galestro e macigno ricoperte dai

scisti pliocromi. Paragono questi ultimi ai scisti policromi fossiliferi dell'eocene inferiore di Spezia; questo permette di attribuire all'alberese stesso un'età eocenica media e superiore.

Tettonica (vide carta tettonica III e tabella IV)

La tettonica nappistica di grande area sviluppata specialmente dagli STEINMANN e STAUB deve essere abbandonata e sostituita da una tettonica locale a scaglie (vide pag. 100-115). Il Gruppo di Voltri, per la più gran parte autoctono, è un massiccio intensivamente fagliato, metamorfizzato sotto le presioni delle scaglie appoggiandolo. I lembi di calcescisti nella parte orientale del Gruppo devono essere considerati scaglie indipendenti, tettonicamente parallelisabili da Sestri a Voltaggio. Questo primo gruppo di scaglie forma la base della zona Sestri-Voltaggio (vide pag. 103 e profili 105) e si appoggia direttamente sul nucleo del Gruppo di Voltri, cioè sulle masse di rocce verdi. La zona di Sestri-Voltaggio è caratterizzata al suo torno da una successione di scaglie dal sud al nord che presentano relativamente una facies detta »ostalpin«. Il »flysch cretaceo« assai potente che ricopre questa zona dall'ovest e affiora principalmente nel Val Polcevera e Val Scrivia comprende un'unità ofiolitifera, la serie del Mte Figogna e di Lencisa nel sud, e le serie di Reborà, Lemme, Calvo, Freccie e Bocco Moro nel nord, ed una unità argillosa che ricopre la prima. A oriente, queste serie sono sovrapposte dal »flysch eocenico« (vide pag. 85) del nordappennino.

Il limite tra Alpi ed Appennino ha la sua origine nel fatto che a nord di Genova s'incontrano due serie specificamente differenti, una appartenendo alle Alpi colle sue rocce verdi e calcescisti altamente metamorfizzati andando dal trias inferiore al liasico, e l'altra tipicamente appenninica con livelli stratigrafici dal liasico all'oligocene presentando uno scarso metamorfismo. Per mezzo di sistemi di faglie complicate da cui risultano differenti scaglie accavalcandosi quasi tutte, la tettonica differisce di quella alpina ed appenninica. Falde ben individuate con i loro caratteri specifici non si ritrovano qui; le scaglie e lembi di scaglie (che sono qui il motivo principale della tettonica) presentano una certa coerenza tra di loro. Coerenza principalmente stratigrafica che dà a questo mosaico un carattere orientato andando dal sud al nord, il quale precisamente è il limite tra Alpi ed Appennino.

SUMMARY OF THE RESULTS

The aim of the present study was to shed new light on the intricate problems of the »boundary between the Alps and the Apennines«. The surveyed region is situated in northern Italy and includes the eastern part of the Voltri Group (Gruppo di Voltri) — mainly consisting of green rocks and metamorphic schists showing a typical alpine facies — and the north-western part of the Apennines, where a thick unmetamorphic series presents an obviously apennine facies. The main problem in this area concerns the relationship between these two series. There are three possible alternatives, firstly a lateral passage, secondly a purely stratigraphical boundary, i. e. sedimentation in two different basins, and thirdly a tectonic boundary.

It was necessary first to examine the petrography, then the stratigraphy, and finally to synthesize the results to give a possible picture of the tectonics of the area.

1. Petrography

The green rocks of the Voltri Group have been subjected to a detailed petrographical study and then described. In addition to the peridotites, different varieties of serpentine could be distinguished, which were found to form a complete series from peridotite (lherzolite) through diallage-serpentine to serpentine. The first part of the present study deals mainly with the gabbro and its contact products with the serpentine, as well as with the calc-silicate metamorphic rocks.

2. Stratigraphy

The division of the pennine »Bündnerschiefer« into two well differentiated series — that of the true »calcescisti« (metamorphic calcareous schists) and that of the Montenotte series (consisting of argillaceous schists, limestones, radiolarites and green rocks of Upper Triassic age) — suggested by ROVERETO, could not be maintained in the region studied. The »Bündnerschiefer« admit neither a stratigraphical nor a lithological differentiation, for although a number of petrographically different rock types can be distinguished, their succession appears to be completely random. At the base of the

»Bündnerschiefer«, quartzite bands can be distinguished which, by comparison with those of the adjacent western zone of the Turchino (at present being studied by LOCHER), can be considered Lower Triassic in age. In agreement with ROVERETO, who found belemnites near Mele, and FRANCHI, the true »schistes lustrés« are considered to be Liassic in age. The exact period of time represented by the »schistes lustrés« cannot be determined, however, because in the Voltri Group they are covered suddenly and discordantly by the Oligocene.

The Triassic can be divided into dolomites and limestones, probably of Ladinic age; succeeded by the breccias, argillaceous schists (Tonschiefer), gypsum and cavernous dolomites of the Raibler association, certainly of Carnic age; and followed by the main dolomite, from which fossils have been described by REPOSSI, which is certainly of Noric age. The succeeding Rhaetic comprises a lower group of fossiliferous, very fine-grained, multicoloured slates (Kösenserschiefer of STAUB), followed by a series of fossiliferous limestones which contain the equivalents of the »calcare ceroide« (grey, brownish, medium-grained limestones), marbles, radiolarites and green rocks of Upper Triassic age with its Lumachell-breccia.

The Lower Jurassic comprises a dark, basal »Tonschiefer« horizon (which STAUB includes in the Rhaetic), followed by the »calcarei a selce« (a partly silicified limestone), the »calcarei lastroidi« (a limestone containing calcite veins), and the »calcarei a stratelli« (a very thin-bedded limestone) of the true Liassic. A more chalky series with the »calcarei picchiettati« (a whiter limestone having a granular appearance due to the presence of numerous small calcite concretions), marbles and radiolarite, represents the Upper Jurassic. The green rocks of the Jurassic very often contain serpentine in their lower horizons, while diabase and serpentine together are characteristic of higher horizons .

The succeeding thin-bedded limestones, fine-grained calcareous mudstones (Mergel) and »Tonschiefer« (according to STAUB quite similar to part of the Saluver series) are followed by the »argilloscisti« (grey, fine-grained, thin-bedded slates) and diabase, spilite and radiolarite horizons. This association of »argilloscisti«, diabase-spilite and radiolarite in that order sometimes occurs as a rhythmic unit. The upper part of this sequence comprises the »argille scagliose« (thick, poorly stratified brownish clays) and an uppermost series of fine to medium-grained argillaceous slates similar to the »galestri«. The whole of this sequence is considered to be of Cretaceous age.

In the eastern Polcevera and Scrivia valley, rocks similar to the »galestri« and »macigno« (sandstones partly fossiliferous and well-bedded), overlain by the »scisti policromi« (multicoloured fine-grained slates), were distinguished at the base of the Eocene Alberese formation (mainly limestones with Helminthoidea beds). These »scisti policromi« are definitely to be correlated with the fossiliferous Lower Eocene at La Spezia. Thus, a Middle to Higher Eocene age must be assigned to the Alberese formation.

The overlying Oligocene conglomerates and Pliocene sands which cover all the previous series with great angular discordance have been described only for completeness' sake.

3. Tectonics

The large nappe theory developed by STEINMANN and ROVERETO, but particularly by STAUB, to explain the structure of the north Apennines and Liguria, has to be abandoned in favour of an intricate thrust-block pattern (»Schuppenwerk«).

The Voltri Group, although part of the Autochthon, is itself traversed by steep thrusts and has thus slightly moved. Metamorphism of the green rocks has taken place especially along the thrust planes. The »Bündnerschiefer« zone along its eastern flank has been subdivided into a number of thrust elements which override the Voltri Group, but only for short distances. These »Bündnerschiefer« thrust elements form the base of the Sestri-Voltaggio zone of thrust block tectonics. Further information regarding the extent of the overriding of the thrust elements into the Voltri Group will be available only after studies in the region of Savona in the west (by KEREZ).

The Sestri-Voltaggio zone is characterized by a number of thrust elements striking N-S, having a lower east alpine facies development. The Cretaceous flysch which overlies the eastern part of this zone can be divided into a lower ophiolite-bearing part (middle east alpine Figogna-unit of STAUB 1942) and an upper ophiolite-free part (Polcevera-argilloscisti of ROVERETO 1908), and is discordantly covered by the Eocene flysch of the northern Apennines (gently folded Alberese overlying very crumpled Cretaceous strata).

The question concerning the nature of the boundary between the Alps and the Apennines can be answered insofar that in the area Sestri-Voltaggio two completely different sedimentary sequences

(sedimented in two different basins) adjoin one another, and that the eastern one, i. e. that of the Apennines, is overriding the western series of the Voltri Group in a complicated thrust-block zone (see table III and tectonic map IV) — forming also a tectonic boundary.