

**Precisazioni intorno alle formazioni terziarie  
della radice di barbabietola**

La tuberizzazione delle radici di barbabietola, secondo quanto si riferisce, è provocata dalla comparsa, nel felloderma (BACH) (1) di formazioni libro-legnose terziarie. Nella radice giovane il cambio normale produce un anello continuo di legno e di libro e ben presto cessa di funzionare. Successivamente, nel felloderma, che è molto abbondante, appare un cambio soprannumerario sotto forma di anello continuo, produttore, nel modo abituale, una cerchia di fasci libro-legnosi isolati che si aggiungono alle formazioni secondarie normali; più tardi ancora, appaiono nuovi cambi soprannumerari, sempre più periferici, che formano nuove cerchie di legno e di libro. La maggior parte di queste formazioni restano allo stato di parenchima celluloso dove si immagazzina il saccarosio.

Secondo altri AA. [CAPPELLETTI (4), TONZIG (5)], nella radice di barbabietola, inizialmente, si differenzia la struttura primaria nel cilindro centrale, dove si osserva un fascio raggiato diarco costituito da due cordoni legnosi alternantisi con due cordoni liberiani. Ben presto, nel modo tipico delle radici, appare un meristema cambiale tra le arche legnose e liberiane e, per la sua attività, si forma una zona legnosa regolarmente circondata da tessuto liberiano.

Mentre questo primo cambio è ancora in funzione, un secondo anello cambiale si differenzerebbe esternamente al libro nella zona periciclica; e da questo si originerebbe una nuova cerchia di fasci libro-legnosi collaterali separati da zone parenchimatiche; successivamente un terzo anello cambiale si formerebbe più in fuori, indi un quarto e così via.

Dopo un certo tempo i cambi più vecchi, a partire dall'interno, cessano di funzionare. Da ogni cambio soprannumerario si forma una cerchia di fasci collaterali intervallati da tessuto parenchimatico e, durante l'attività dei singoli cambi, le zone interfasciali darebbero origine ad un nuovo parenchima per modo che i fasci rimangono sempre separati (fig. 1).



La descrizione dell'origine delle cosiddette formazioni terziarie nelle radici di barbabietola non sembra esaurientemente precisata e l'eccezione principale che si può rilevare è relativa al modo di formarsi dei fasci collaterali aperti nelle diverse zone cambiali. Secondo questa descrizione, nel processo di tuberiz-

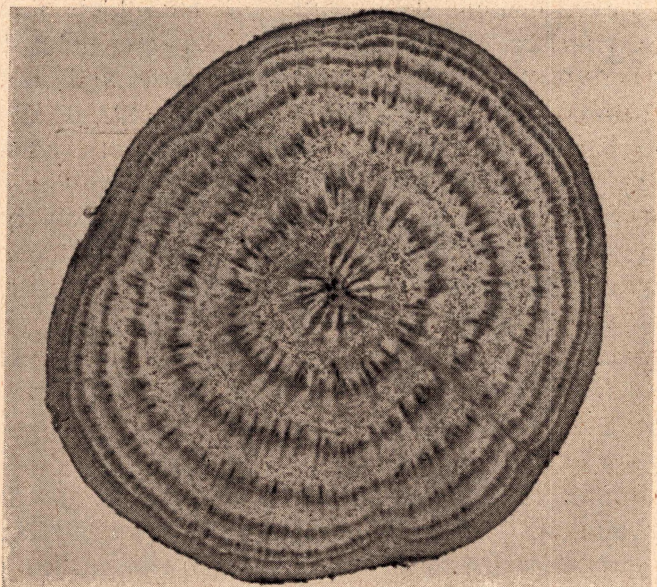


FIG. 1

Sezione trasversale della radice di barbabietola. Si osservano le varie cerchia di cambi soprannumerari con i fasci collaterali più grandi e distanziati verso il centro, più piccoli e ravvicinati nelle cerchia esterne.

zazione della radice di barbabietola, la formazione dei fasci seguirebbe quella degli anelli cambiali soprannumerari, invece di precederla come normalmente si dovrebbe verificare. Forse questa interpretazione è stata suggerita dal fatto che la cerchia più esterna di cambio soprannumerario, non soltanto ha una maggiore continuità delle altre più interne, ma non presenta fasci differenziati (fig. 8); la progressività di differenziazione dei fasci presenta, infatti, un andamento centripeto.



Nelle strutture ordinarie delle dicotiledoni la comparsa dell'anello cambiale è sempre preceduta dalla formazione dei fasci collaterali aperti, che derivano dai cordoni procambiali. Si sa che nella parte interna di questi fasci rimane un segmento di

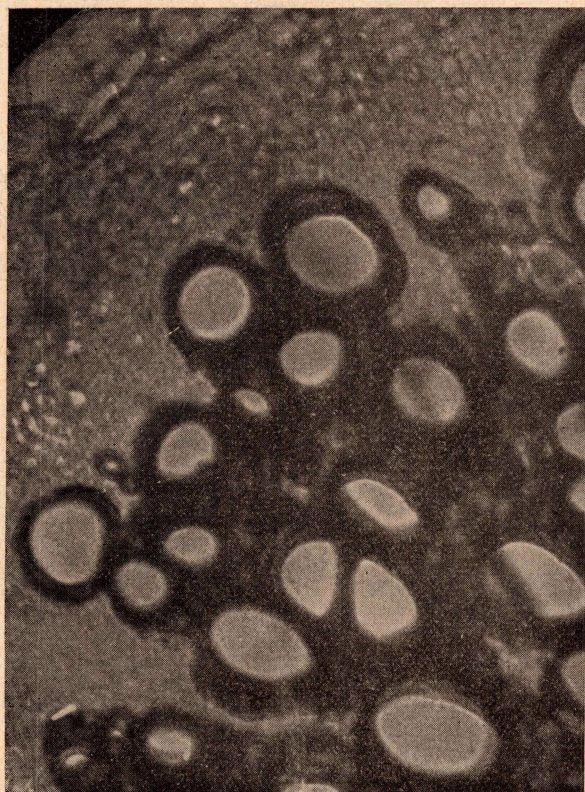


FIG. 2

Corpo legnoso interno e corpo corticale esterno nel quale si differenzieranno successivamente i cambi soprannumerari

cordone procambiale indifferenziato che darà origine al cosiddetto cambio intrafasciale, il quale successivamente, estendendosi ai raggi midollari, completa l'anello di cambio continuo.

Nella radice di barbabietola il primo cambio si forma nel



modo normale e dà origine ad un corpo legnoso interno ed al corpo corticale esterno (fig. 2).

E' precisamente in questo corpo corticale che, in tempi successivi, si formerebbero, secondo diversi AA., i cambi anormali soprannumerari concentrici, di origine periciclica che darebbero poi origine ad altrettante cerchia di fasci collaterali.

Questi fasci finiscono per rimanere isolati, come se i segmenti di cambio interfasciali, cessando la loro attività, si trasfor-

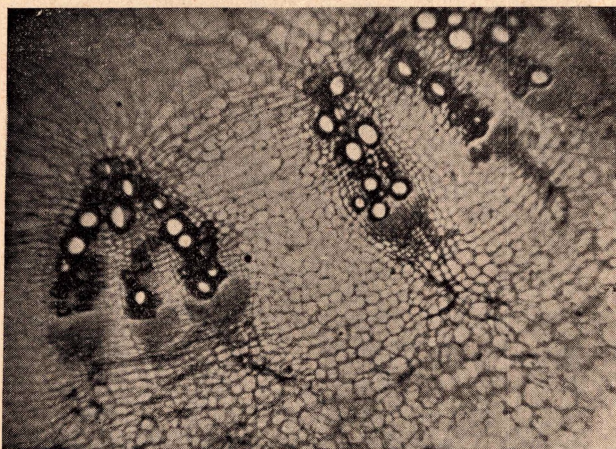


FIG. 3

Tra i fasci delle cerchia più interne sono visibili i raggi midollari molto sviluppati

massero in un tessuto parenchimatico che va a costituire il raggio midollare. Le cellule di questo tessuto, aumentando di volume per la loro funzione di riserva dello zucchero, finiscono per distanziare ancor più i fasci (fig. 3).

La suddetta interpretazione appare alquanto dubbia poiché non risulta chiaro come nel corpo corticale parenchimatico, ad un certo momento, si differenzi un anello di cambio seguito dalla formazione dei fasci, mentre le zone di cambio, comprese tra questi, si trasformino nuovamente in raggi midollari; più precisamente non sembra possibile che il parenchima posto tra



le zone dove si differenzieranno i fasci, ad un certo punto, si trasformi in cambio, per ritornare, ben presto, allo stato di parenchima.

Osservando attentamente nella radice di barbabietola l'ultimo cambio soprannumerario più esterno, si può rilevare che

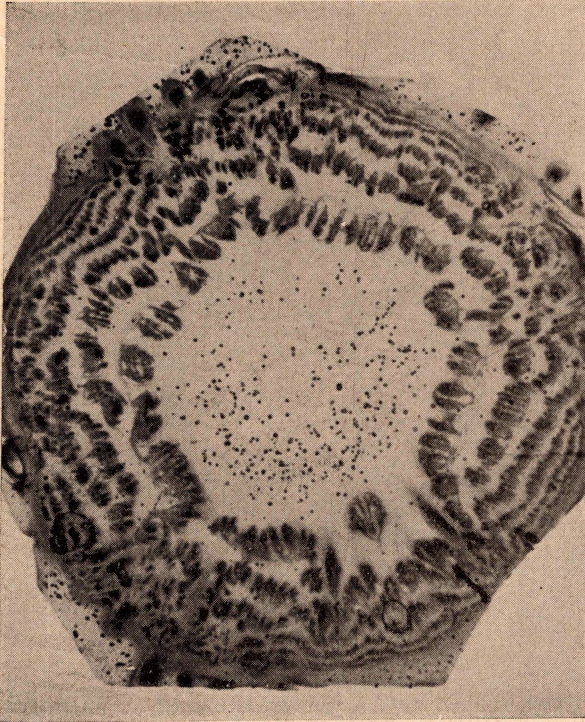


FIG. 4

Sezione trasversale del caule di barbabietola; si notano numerose cerchia di fasci collaterali aperti più distanziati verso il centro e più avvicinati nelle cerchia periferiche

questo non presenta nè continuità nè omogeneità. Infatti questo pseudo cambio, osservato a forte ingrandimento, risulta costituito da tanti isolotti di cellule in via di differenziazione, già separati tra di loro da cellule parenchimatiche (figg. 8-9).



Importante è anche il fatto che, man mano che ci si allontana dalla zona sottostante al colletto, verso la radice, la differenziazione dei fasci, relativamente alla cerchia più esterna, è sempre meno evidente. L'anello che ancora si nota, interessa

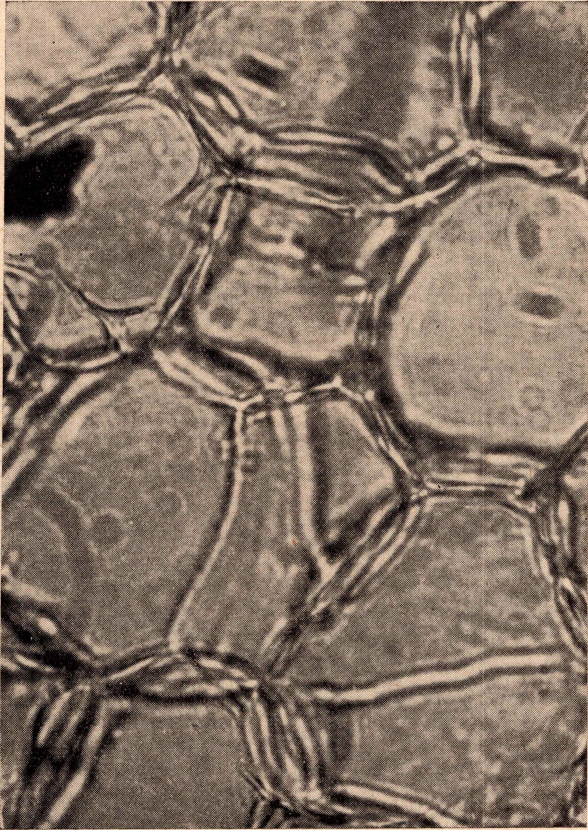


FIG. 5

Particolare del midollo

una fascia di tessuto più ristretta e meno discontinua delle cerchia più interne per il semplice fatto che gli isolotti di cellule destinati a dare origine ai fasci, sono tra loro molto vicini; tali cellule, essendo in via di differenziazione, non si distinguono nettamente dagli elementi parenchimatici vicini.



Nel caule si osserva un cilindro centrale (fig. 4) con una vasta zona midollare costituita da grandi cellule (fig. 5) ed una zona corticale estremamente ridotta. Alla periferia della zona midollare si notano numerosi fasci collaterali aperti, disposti in cerchia più o meno regolari, con una minore gradualità di differenziazione, tra le cerchia più interne e quelle più esterne (figg. 6-7), di quella che si riscontra nella parte radicale del tubero (fig. 1).

Un'altra considerazione, che può avere una certa importanza ai fini di stabilire la natura delle cerchia che si riscon-

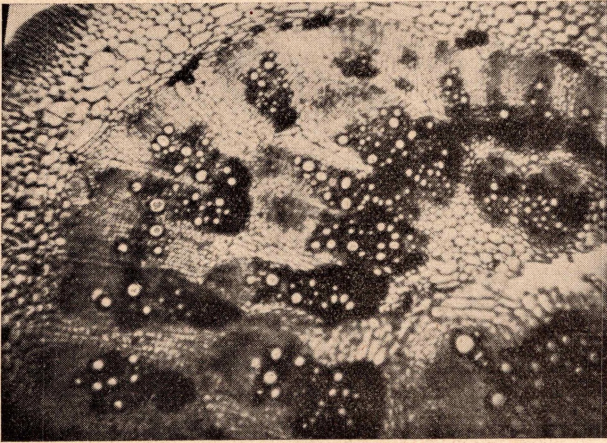


FIG. 6

Caule; disposizione dei fasci

trano nella barbabietola, è quella che si riferisce alla costituzione istologica dell'ultimo anello. Le cellule di questo anello non presentano i caratteri meristemati specifici, ma alcune di esse presentano l'aspetto di cellule istogenetiche (del tipo dei cordoni procambiali); tale aspetto precede il processo di differenziazione vascolare (fig. 8).

Nelle cerchia più interne invece, dove si trovano i fasci più differenziati, si notano segmenti di cambio ben definiti, limitatamente alla parte interna dei fasci stessi. Questi segmenti danno origine a molti elementi parenchimatici (fig. 9) che per



il loro rapido accrescimento finiscono per distanziare ancor più i fasci.

Dalla stessa figura 9, che interessa una porzione delle ultime cerchia, si può notare che non esiste una continuità nei presunti anelli cambiari, ma già nell'ultima cerchia si scorgono dei gruppi di cellule in via di differenziazione isolati da cellule parenchimatiche e ciò è ben più evidente nei due penultimi anelli, dove la differenziazione dei fasci è già in stato avanzato.

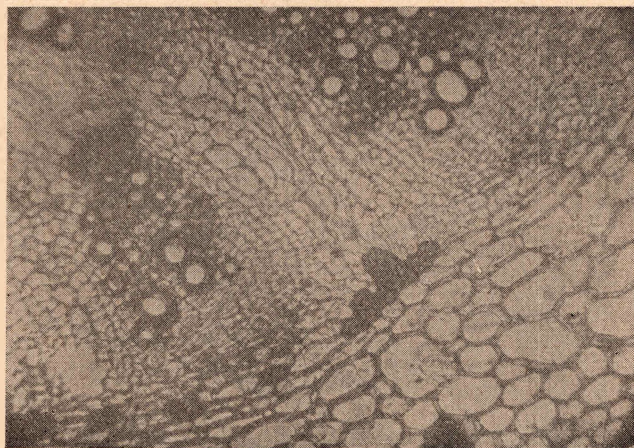


FIG. 7

Caule; raggio midollare tra due fasci di una cerchia intermedia

Esaminando le sezioni trasversali di una barbabietola, dalla estremità superiore del caule alla porzione radicale del tubero, si nota quanto segue:

1) La porzione apicale del caule (fig. 10) è costituita da una zona midollare all'intorno della quale si osserva una prima cerchia di fasci disposti in file tangenziali in modo da delimitare una figura poligonale. All'intorno di questa zona sono disposte le foglie, ognuna delle quali presenta un certo numero di fasci, sempre disposti secondo linee tangenziali; all'ascella delle foglie si notano le sezioni delle gemme. Dall'esame di que-



sta figura risulta evidente che il caule, in corrispondenza di questo piano, è costituito dalla saldatura dei diversi piccioli fogliari i cui fasci tendono ad assumere una disposizione circolare.

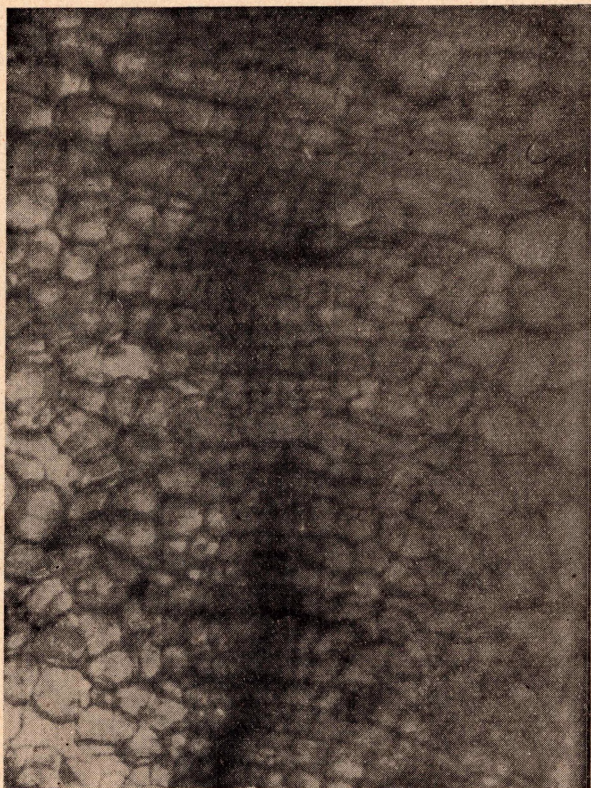


FIG. 8

Nel cambio più esterno, tra i gruppi di cellule di aspetto meristemático che daranno origine ai fasci, si notano zone di parenchima

2) Nella zona intermedia del caule (fig. 4) si nota che il midollo è più ampio e tutto intorno presenta file concentriche più o meno regolari di fasci separati tra loro da porzioni di tessuto parenchimático; tali tessuti parenchimáticos o raggi midollari aumentano gradatamente di spessore dalle file esterne a



quelle interne. In corrispondenza di questo piano, nemmeno nelle cerchia più esterne si notano segmenti di cambio tra un fascio e l'altro.

3) In corrispondenza del colletto (figg. 11-12) i singoli fasci conservano la stessa disposizione circolare, sebbene la zona appaia divisa in tanti settori da formazioni radicali laterali. Questo piano si può considerare come una zona collettrice poichè

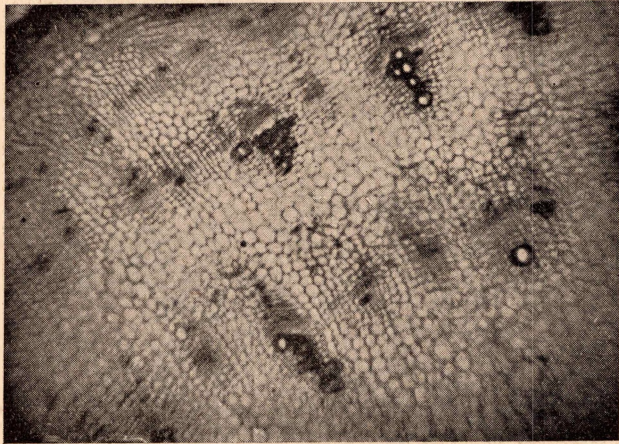


FIG. 9

E' visibile la discontinuità della cerchia più esterna con gruppi di cellule in via di differenziazione destinati a dare origine ai fasci

in essa convergono tutti i fasci relativi alle singole foglie di cui è provvisto il caule.

4) Nella zona intermedia della radice (fig. 1) si riscontra la struttura già accennata. Si può notare che le cerchia dei fasci sono molto più omogenee che nel caule e che l'ultima cerchia presenta una notevole continuità che simula una formazione cambiaria vera e propria.

Seguendo l'andamento dei fasci in senso longitudinale (figure 13-14) si può osservare che dalle singole foglie, che man mano si vanno formando sul caule, si organizzano nuovi fasci che si differenziano dall'alto in basso divergendo dall'apice alla



periferia del caule e continuano, più o meno paralleli, fino al colletto e quindi nella radice; l'andamento longitudinale di queste formazioni spiega la ragione per la quale le cerchie più esterne dei fasci nella radice sono le più giovani e corrispondono alle tracce fogliari più recenti e cioè a quelle che si formano all'apice del caule. Ciò porterebbe a considerare che ogni cerchia di fasci dall'interno all'esterno, con il loro cambio intrafasciale, produce nuovi elementi parenchimatici nei quali

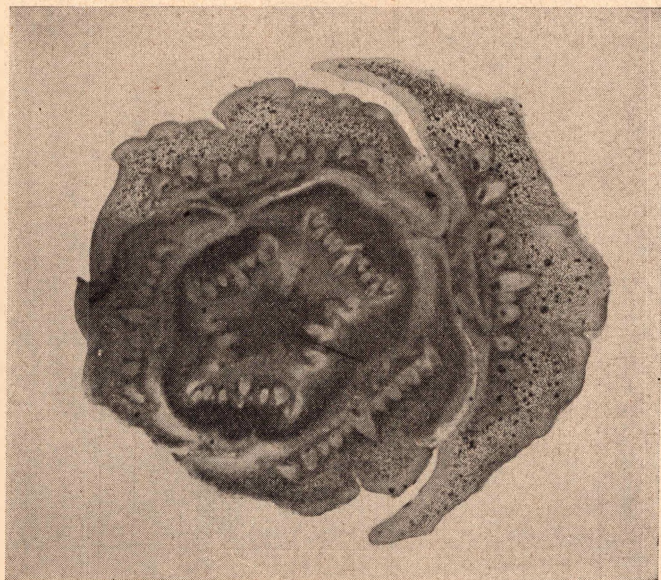


FIG. 10

Nella parte centrale si nota il midollo; intorno a questo, disposti in linee tangenziali, si notano le file dei fasci; ancor più esternamente si notano altre quattro file tangenziali di fasci, relative ad altrettante foglie

si differenzierà la nuova cerchia di fasci corrispondenti alle nuove foglie che si formeranno nella parte terminale del caule.

Da questi preparati sembrerebbe, dunque, che i fasci del caule e della radice non siano altro che la continuazione dei fasci delle foglie, i quali nella porzione superiore del caule mantengono un allineamento in senso tangenziale (fig. 10),



mentre nelle porzioni più profonde tali tracce si fondono insieme assumendo una disposizione circolare più regolare (figura 12) che si conserva anche nella parte radicale del tubero.

Questi rilievi chiarirebbero, d'altra parte, la limitata attività dei cambi intrafasciali dei fasci di ogni singola cerchia; il cambio intrafasciale, infatti, cesserebbe di funzionare dopo aver approntato il nuovo tessuto parenchimatico nel quale avverrà la differenziazione della cerchia di fasci più esterna.



FIG. 11

Sezione trasversale nella parte basale del colletto

Con tale andamento è comprensibile come i fasci, relativi alle foglie più giovani, nella radice appaiono alla periferia e siano anche meno differenziati.

Tale disposizione porta a considerare che nella radice di barbabietola sono presenti due categorie di fasci. La prima, normale, deriva dai cordoni procambiali differenziati nel pleroma radicale e di origine primaria che, a loro volta e nel modo consueto, formano un cambio dalla cui attività si avrà un corpo legnoso ed uno corticale (fig. 2).



La seconda categoria di fasci potrebbe essere considerata di origine caulinare in quanto presenta la disposizione ed il tipo dei fasci presenti nel caule, ma di origine secondaria in quanto si differenzia da un tessuto parenchimatico adulto prodotti dalla attività dei diversi segmenti di cambio intrafasciale.

Nel caule, d'altra parte (fig. 4), non appare una struttura secondaria vera e propria, ma soltanto cerchia concentriche di

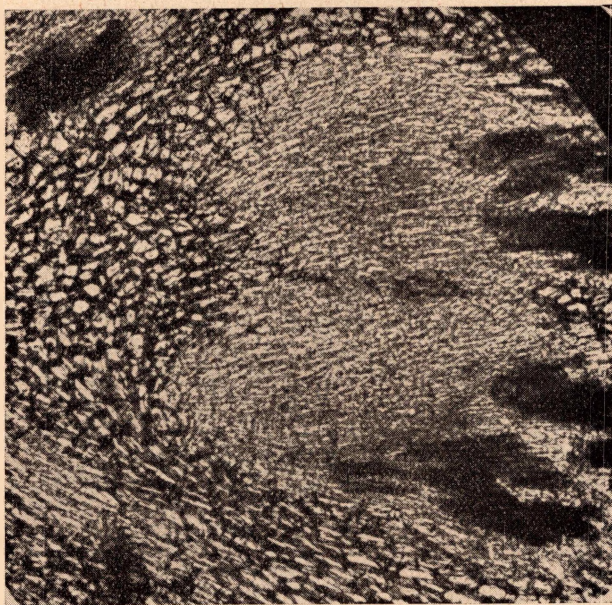


FIG. 12

Zona del colletto; un fascio in via di differenziazione tra due raggi midollari

fasci (figg. 6-7) del tutto simili a quelli che si riscontrano alla base delle foglie (fig. 10).

Nella barbabietola, la continuità dei fasci, dalle foglie alle radici, richiama alla mente alcune ricerche del CAMUS.

Il CAMUS (2), infatti, innestando una gemma in un frammento di tessuto vegetale coltivato « in vitro », ha potuto osservare che dal punto d'innesto della gemma s'inizia la differen-



ziazione dei tessuti parenchimatici in tessuti conduttori e tale differenziazione prosegue obliquamente sino a raggiungere i tessuti conduttori del frammento coltivato (fig. 15).

In seguito a questi risultati si ammetterebbe che la differenziazione dei fasci sia la conseguenza dell'attività di una par-



FIG. 13

Sezione longitudinale del caule e della radice. Si nota la continuità dei fasci dalle foglie alla radice

ticolare sostanza che si forma nelle foglie e che agisce nel senso foglia-caule-radice.

Collegando questi fatti si potrebbe pensare che le varie cerchia di fasci che si riscontrano nella porzione radicale del



tubero di barbabietola siano dovute allo stesso fenomeno accennato dal CAMUS.

Ogni gemma caulinare o fogliare, che si forma all'estremità superiore del caule, stimolerebbe, infatti, la formazione di un certo numero di fasci con differenziazione basipeta. Da ciò deriverebbe che ogni fascio, che appare isolato e differen-

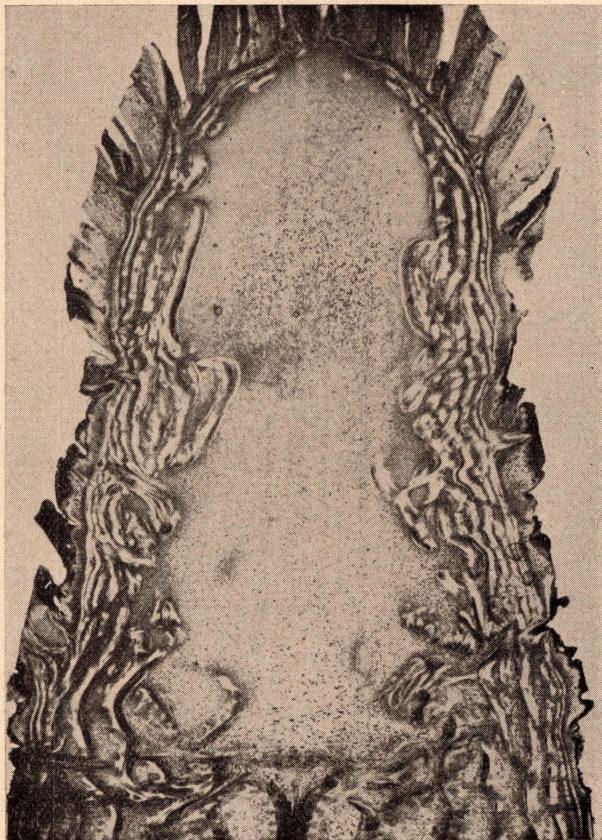


FIG. 14

Sezione longitudinale del caule, del colletto e della parte superiore della radice

ziato alla base della foglia, conserva anche nella radice tali caratteristiche sebbene alquanto attenuate.

La differenziazione dei fasci, come ho accennato, progre-



disce dall'alto in basso e, considerando la cerchia più esterna di un piano di sezione qualsiasi, è evidente che la formazione dei fasci, nei piani inferiori dove questa non si è ancora delineata, è preceduta dalla trasformazione del tessuto parenchimatico in un tessuto formativo, localizzato soltanto in alcuni punti disposti in cerchia (del tipo dei cordoni procambiali), nei quali continuerà la differenziazione longitudinale del fascio stesso.

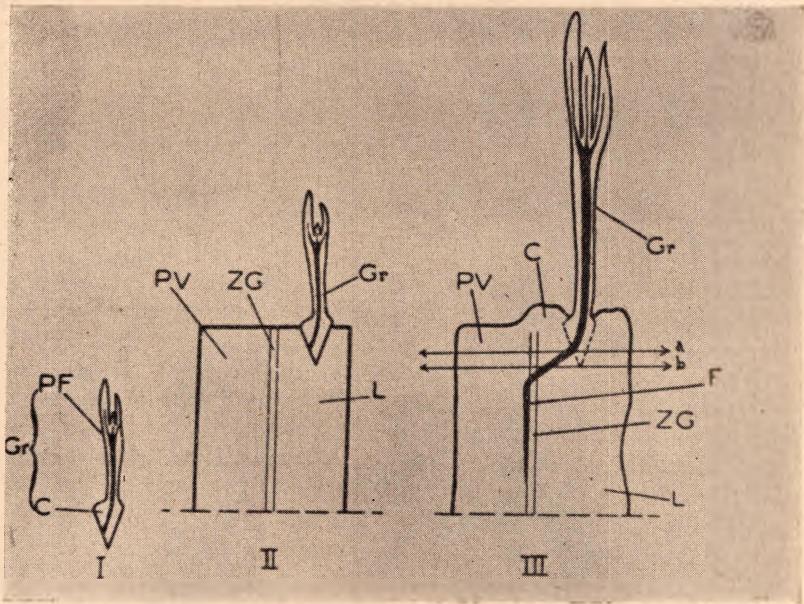


FIG. 15

Continuità tra il fascio conduttore del germoglio e quello del frammento (CAMUS)

I vari anelli di presunto cambio, pertanto, sarebbero invece costituiti dalle cerchia dei fasci collaterali aperti (di origine caulinare), i quali, percorrendo longitudinalmente il tubero, danno l'idea, per la loro vicinanza, di un anello di cambio soprannumerario.

Spesso si può verificare, per il gran numero di questi fasci e quindi per la loro vicinanza, una saldatura tra i cambi interfasciali di due o più fasci contigui in modo da simulare la formazione di un cambio.



Al termine di questo esame si potrebbe concludere che nella barbabietola le strutture terziarie di cui i diversi trattati fanno cenno, non sono altro che il prodotto dell'attività discontinua dei meristemi intrafasciali dei singoli fasci isolati; perciò l'accrescimento in grossezza di questo tubero, a parte la

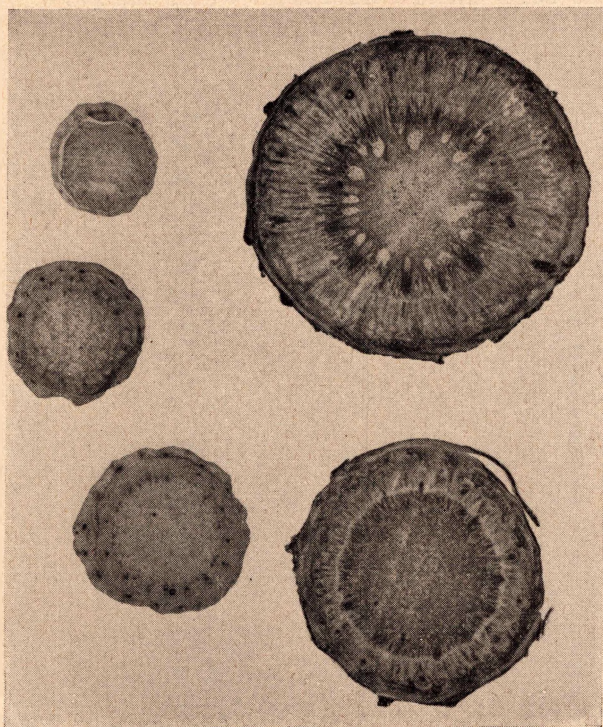


FIG. 16

Sezioni trasversali della carota nella zona caulinare

limitata attività del primo cambio, sarebbe dovuta ai predetti meristemi, i quali, insieme agli elementi vasali e cribrosi, danno origine a moltissimi elementi parenchimatici. Sono questi elementi parenchimatici che, insinuandosi radialmente tra gli elementi vascolari e quelli cribrosi, frazionano il fascio a ventaglio provocando l'aumento in diametro del tubero. L'aumento di diametro è, inoltre, anche la conseguenza del fortissimo ac-



crescimento in volume dalle cellule, per la loro proprietà di accumulare rilevanti quantità di saccarosio.

In collegamento con le osservazioni accennate è stata esaminata la struttura della carota la quale, pure essendo un tubero misto che può raggiungere delle ragguardevoli dimensioni e che al pari della barbabietola vive due anni, non presenta le cerchia che sono tanto evidenti in quest'ultima.



FIG. 17

Sezione trasversale del caule di carota in vicinanza del colletto

La carota nella sua parte radicale, presenta una formazione secondaria ben evidente determinata dall'attività di un cambio normale, che forma un corpo legnoso all'interno ed un corpo corticale esterno (fig. 17); in questa regione non si osservano le cerchia regolari che abbiamo osservato nel caso della barbabietola, ma soltanto zone differenziate in fasci completamente isolati nel parenchima corticale.



Osservando le diverse sezioni trasversali della carota, dal caule alla radice, si nota che le foglie superiori con la loro parte basale guainante abbracciano il caule e finiscono per saldarsi al medesimo (fig. 16-I) stabilendo la prima cerchia di fasci; nei piani trasversali successivi si nota che la saldatura delle foglie più basse prosegue in modo da formare un unico complesso con il caule (fig. 16, I-II-III-IV-V)

Nella vasta regione corticale del caule e della radice, che si viene a costituire attorno al cilindro centrale, non si osservano delle cerchia continue, ma soltanto gruppi di cellule in via di differenziazione o già differenziate in tubi conduttori (fig. 17). Le differenze che si rilevano tra la carota e la barbabietola sono dovute, pertanto, al fatto che nella prima i fasci sono meno numerosi, mentre nella seconda il grande numero dei fasci, ed il loro ravvicinamento dà l'idea di anelli di cambio continui.

Osservando la sezione trasversale della radice di carota (fig. 18) dal midollo alla zona corticale, si nota che i fasci sono sempre isolati, pertanto la loro genesi non si può riferire ad un anello continuo cambiale soprannumerario.

Le figg. 19 e 20 mostrano, rispettivamente, le sezioni d'insieme trasversali e longitudinali della carota, dove le cerchia di fasci presentano una minore continuità che nella barbabietola.

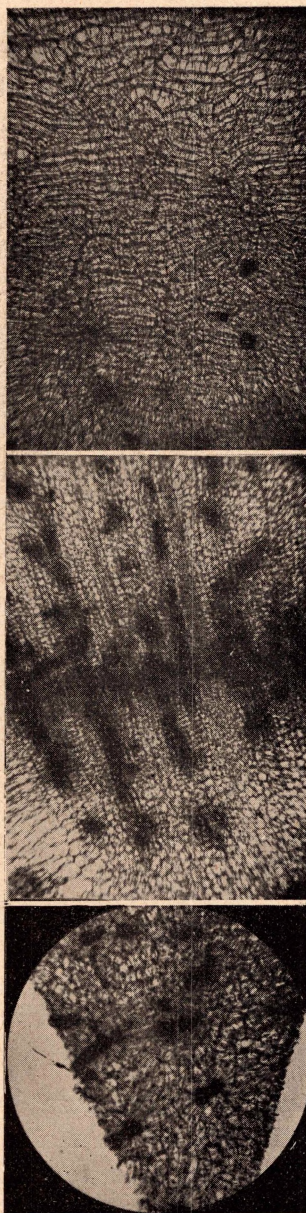


FIG. 18  
Sezione trasversale di carota nella zona radicale; dal midollo al cilindro corticale i fasci sono isolati



Ritengo, pertanto, che gli esami anatomici sopra riportati, portino alla conclusione che l'accrescimento in diametro della barbabietola, a parte l'attività del cambio normale, non sia dovuta a cambi soprannumerari di origine periciclica, ma alla formazione di fasci collaterali aperti che si differenziano in senso longitudinale come continuazione delle traccie fogliari. Il cambio intrafasciale, limitato ai singoli fasci, provvede all'accre-

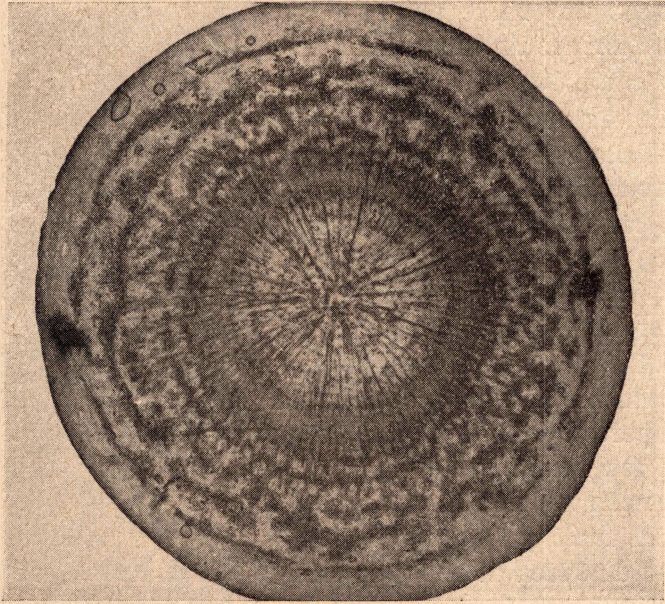


FIG. 19

Sezione trasversale della zona radicale - Insieme

scimento in grossezza del tubero poichè tali segmenti meristematici producono molti elementi parenchimatici che finiscono per frazionare a ventaglio il fascio stesso, come facilmente si può rilevare dalla figura 3.

Senza entrare in merito alla dottrina fillopodiale, indubbiamente tale struttura presenta molti punti di contatto con essa; anzi, si potrebbe dire che il tubero di barbabietola, come quello di carota, costituiscono un tipico esempio che, più di ogni altro,



confermerebbe la teorie fillopodiale del DELPINO e di altri suoi sostenitori, come il CATALANO (3), nonchè quella della filloriza di CHAUVEAUD.

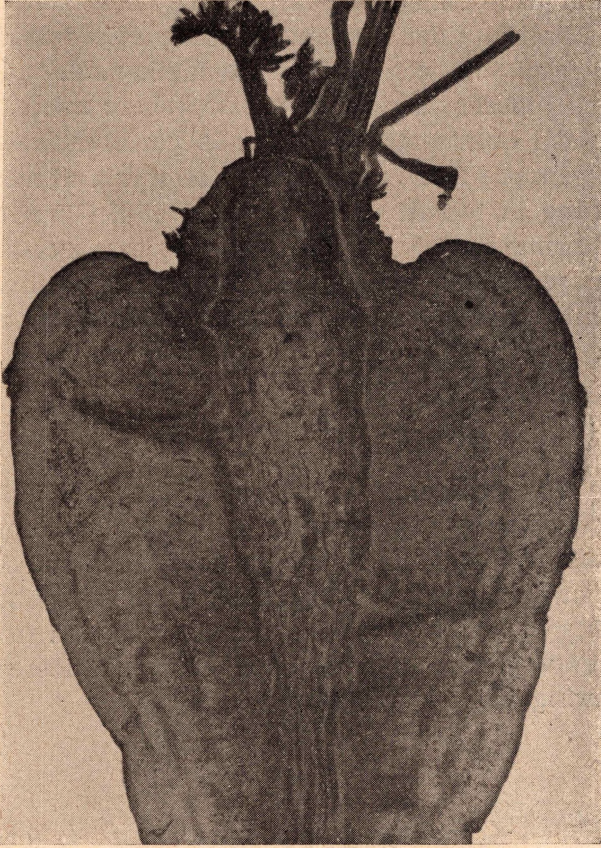


FIG. 20

Sezione longitudinale di carota: si osserva il decorso longitudinale dei fasci, meno marcati che nel caso della barbabietola

### C O N C L U S I O N I

Secondo le indagini anatomiche riferite ritengo che le strutture terziarie del tubero di barbabietola, nella sua parte radicale, non siano dovute a cambi soprannumerari che si dif-



ferenziano nel corpo corticale di questa pianta dai tessuti parenchimatici definitivi secondari. L'accrescimento in diametro deriva solo in minima parte dall'attività del cambio normale, che si forma con le modalità caratteristiche delle piante dicotiledoni; tale accrescimento appare invece in massima parte imputabile all'attività dei segmenti meristemati intrafasciali dei numerosi fasci, che, con andamento foglia-caule-radice, vanno man mano differenziandosi in questo tubero misto.

In effetti queste strutture, per la parte radicale, sono secondarie, perchè i fasci, con i relativi segmenti di meristema, si differenziano in tessuti parenchimatici adulti derivati dall'attività del primo cambio, che nel suo complesso è considerato un meristema secondario e dalla successiva attività dei segmenti di cambio intrafasciale che vanno man mano formandosi verso l'esterno.

#### S U M M A R Y

With this research it is determined that the thickening of the mixed tuber of sugar-beet is not due to the formation of supernumerary cambium but to the activity of the segments of interfascicular cambium of the numerous open collateral bundles which, owing to a probable stimulus inducted from the leaves, are undergoing differentiation, in the considered organ, in the following way: leaves-stem-roots.

#### B I B L I O G R A F I A

- (1) BACH D. - «Organisation Générale et reproduction des plantes vasculaires» (Cours de Botanique Générale, Tome I) - SEDES, Paris.
- (2) CAMUS S. - «Recherches sur le rôle des bourgeons dans les phénomènes de morphogénèse» - P. André, Paris 1949.
- (3) CATALANO G. - «Botanica Agraria» - Unione Tip. Editrice Torinese - Torino 1948.
- (4) GOLA, NEGRI, CAPPELLETTI - «Trattato di Botanica» - Un. Tip. Editrice Torinese, Torino 1951.
- (5) TONZIG S. - «Elementi di Botanica» - Casa Edit. Ambrosiana - Milano 1948.