

Objektyp: **Group**

Zeitschrift: **L'Enseignement Mathématique**

Band (Jahr): **22 (1976)**

Heft 1-2: **L'ENSEIGNEMENT MATHÉMATIQUE**

PDF erstellt am: **13.09.2024**

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

### **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

$$(2,1) \quad \frac{(p-3)!}{p-2} - \left[ \frac{(p-3)!}{p-2} \right] = \frac{p-3}{p-2},$$

da cui:

$$(p-3)! - (p-2) \left[ \frac{(p-3)!}{p-2} \right] = p-3.$$

Da quest'ultima si deduce facilmente che se è  $p-2 \in \mathcal{P}$ , il naturale  $p$  soddisfa alla congruenza:

$$(p-3)! + 2 \left[ \frac{(p-3)!}{p-2} \right] \equiv -3 \pmod{p},$$

da cui, dopo semplici passaggi:

$$(p-1)! + 1 + 4 \left[ \frac{(p-3)!}{p-2} \right] \equiv -5 \pmod{p}.$$

Da questa, se si suppone che (anche)  $p$  sia primo, per il teorema di Wilson, si ha infine:

$$(2,2) \quad 4 \left[ \frac{(p-3)!}{p-2} \right] \equiv -5 \pmod{p}.$$

Si ha cioè che se i due naturali  $p-2$  e  $p$  sono entrambi primi, con  $p \in N_5$ , il naturale  $p$  soddisfa certamente alla (2,2). Con ciò si è quindi riottenuta la necessità della condizione (1,1).

3. Ciò posto vogliamo ora dare una condizione necessaria e sufficiente perchè i naturali

$$p-2, p, p+4, \text{ con } p \in N_7,$$

siano elementi di  $\mathcal{P}$ .

AmMESSO che  $p-2$  e  $p+4$  siano primi, e quindi  $p \in N_7$ , dall'equazione dei numeri primi si hanno le seguenti condizioni per  $p$ :

$$(3,1) \quad \frac{(p-3)!}{p-2} - \left[ \frac{(p-3)!}{p-2} \right] = \frac{p-3}{p-2}$$

$$(3,2) \quad \frac{(p+3)!}{p+4} - \left[ \frac{(p+3)!}{p+4} \right] = \frac{p+3}{p+4}$$

Ora, dalla (3,1) si ha:

$$(3,3) \quad p-3 = (p-3)! - (p-2) \left[ \frac{(p-3)!}{p-2} \right]$$

e dalla (3,2):

$$(3,4) \quad p + 3 = (p + 3)! - (p + 4) \left[ \frac{(p + 3)!}{p + 4} \right],$$

da cui:

$$(3,5) \quad 6 = (p + 3)! - (p - 3)! - p \left\{ \left[ \frac{(p + 3)!}{p + 4} \right] - \left[ \frac{(p - 3)!}{p - 2} \right] \right\} \\ - 2 \left[ \frac{(p - 3)!}{p - 2} \right] - 4 \left[ \frac{(p + 3)!}{p + 4} \right].$$

Si è così ottenuto che nelle ipotesi

$$(3,6) \quad p \in N_7; \quad p - 2, p + 4 \in \mathcal{P},$$

il naturale  $p$  soddisfa alla (3,5) e quindi anche alla sua conseguenza:

$$(3,7) \quad 4 \left[ \frac{(p + 3)!}{p + 4} \right] + 2 \left[ \frac{(p - 3)!}{p - 2} \right] + (p - 3)! \equiv -6 \pmod{p},$$

ovvero alla:

$$(3,8) \quad 8 \left[ \frac{(p + 3)!}{p + 4} \right] + 4 \left[ \frac{(p - 3)!}{p - 2} \right] + (p - 1)! + 1 \equiv -11 \pmod{p}.$$

Questa, nella ulteriore ipotesi:

$$(3,9) \quad p \in \mathcal{P} \cap N_7$$

diventa:

$$(3,10) \quad 8 \left[ \frac{(p + 3)!}{p + 4} \right] + 4 \left[ \frac{(p - 3)!}{p - 2} \right] \equiv -11 \pmod{p}.$$

Pertanto può dirsi che condizione necessaria perchè siano

$$(3,11) \quad p - 2, p, p + 4 \in \mathcal{P}, \text{ con } p \in N_7,$$

è che  $p$  soddisfi la (3,10).

4. Dimostriamo ora, viceversa, che se  $p \in N_7$  soddisfa la (3,10) cioè è (anche) sufficiente perchè i naturali

$$p - 2, p, p + 4$$

siano primi.

Ci occorre per questo premettere alcuni Lemmi e Teoremi.

LEMMA 4-1. Se  $p \in N_3$  verifica la (3,10), tale  $p$  è dispari.

Infatti se  $p \in N_3$  verifica la (3,10) esiste un intero relativo  $\lambda$ , anzi un naturale  $\lambda$ , tale che sussista l'identità:

$$(4,1) \quad 8 \left[ \frac{(p+3)!}{p+4} \right] + 4 \left[ \frac{(p-3)!}{p-2} \right] + 11 = \lambda p.$$

E allora l'assunto è evidente per il fatto che il primo membro della (4,1) è senz'altro un numero dispari.

Proviamo ora che:

LEMMA 4-2. Se  $p \in N_5$  e se  $p+4$  è composto, il naturale

$$\frac{(p+3)!}{p+4}$$

è multiplo di  $p$ .

Dim. Osserviamo in primo luogo che il lemma è evidente se è

$$(p, p+4) = 1.$$

Per gli altri casi proviamo prima che, nell'ipotesi  $p \in N_5$ , ogni divisore non banale di  $p+4$  è certo minore di  $p$ .

E' noto <sup>1)</sup> infatti che per il piu' grande divisore non banale  $\delta$  di  $p+4$  si ha:

$$\delta \leq \left[ \frac{p+4}{2} \right] = \left[ \frac{p}{2} \right] + 2.$$

Premesso cio' è evidente che l'assunto sara' provato se mostriamo che è:

$$(4,2) \quad \frac{(p-1)!}{p+4} \in N_1.$$

Ora, essendo  $p+4$  composto si puo' porre, tenendo presente quanto visto prima sui divisori non banali di  $p+4$ ,

$$p+4 = d_1 d_2, \text{ con } d_1, d_2 \in N_2 - N_p.$$

E allora se  $d_1 \neq d_2$  l'assunto è evidente.

Se poi è  $d_1 = d_2$ , e quindi:

$$p+4 = d_1^2,$$

<sup>1)</sup> cfr. F. PELLEGRINO: Dispense di Teoria dei Numeri.

supposto  $p \in N_9$ , si ha:

$$d_1^2 = p + 4 < 2p$$

da cui

$$(4,3) \quad 2d_1 < 2\sqrt{2p} < 2p,$$

l'ultimo membro provenendo dal fatto che per essere  $p \in N_9$ , è

$$(2\sqrt{2p})^2 = 8p < p^2.$$

La (4,3) ci dice che nell'insieme  $N_1 - N_p$ , il prodotto dei cui elementi da'  $(p-1)!$ , ci sono due elementi distinti  $d_1$  e  $2d_1$  contenenti appunto  $d_1$ . Il Lemma è così provato nell'ipotesi  $p \in N_9$ .

Siccome poi per  $p = 8$  e  $p = 6$  è  $(p, p+4) \in N_2$ , ma  $p + 4$  non è un quadrato e per  $p = 7$  e  $p = 5$  è  $(p, p+4) = 1$ , il Lemma è vero per  $p \in N_5$ .

Un'altra dimostrazione dello stesso Lemma, più lunga ma che richiede soltanto proprietà dei numeri naturali, si ottiene provando prima per assurdo che se  $d$  è un divisore non banale di  $p + 4$  non si può porre  $d = p + i$ , con  $i \in N_0$ .

Si prova poi che per ogni  $p \in N_5$  è vera la (4.2), osservando prima che è

$$\delta = (p, p+4) = \begin{cases} 1 \\ 2 \\ 4 \end{cases}$$

e discutendo poi i due casi  $\delta = 2$  e  $\delta = 4$ .

Ci servirà di aver osservato che al Lemma in discorso può darsi anche la forma:

LEMMA (4-2)<sub>1</sub>. Se  $p \in N_9$  e  $p \notin \mathcal{P}$ , il naturale

$$(4,4) \quad \frac{(p-1)!}{p}$$

è multiplo di  $p - 4$ .

Cio' posto proviamo che:

TEOREMA 4-3. Condizione necessaria perchè sia

$$(4,5) \quad p \in \mathcal{P} \cap N_7$$

è che il naturale  $p$  sia soluzione della

$$(4,6) \quad 4 \left[ \frac{(p-1)!}{p} \right] \equiv -3 \pmod{p-4}.$$

*Inoltre, nell'ipotesi*

$$(4,7) \quad p \in N_{11},$$

*tale condizione è anche sufficiente.*

*Dim.* Che la condizione sia necessaria è immediato, in quanto supposto  $p \in \mathcal{P} \cap N_7$ , la (4,6), con l'aiuto dell'equazione dei numeri primi, con pochi calcoli, si riduce all'identità'

$$p - 4 \equiv 0 \pmod{p-4}.$$

La condizione è sufficiente. Supponiamo infatti che un numero composto  $p$  possa verificare la (4,6). E' subito visto che cio' è assurdo per ogni  $p$  composto elemento di  $N_9$ . In tal caso infatti il primo membro della (4,6) è, per il Lemma (4-2)<sub>1</sub>, multiplo di  $p - 4$ , e quindi tale dovrebbe essere 3. Ma cio' è evidentemente impossibile con  $p \in N_9$ . Ogni naturale  $p \in N_9$  che soddisfa la (4,6) è dunque certamente primo e quindi elemento di  $N_{11}$ .

Della condizione sufficiente in questione puo' darsi un'altra dimostrazione che ora esponiamo e che non ricorre al Lemma 4-2. Essa vale pero' soltanto per  $p \in N_{17}$ .

Supponiamo per questo che  $p \in N_7$  soddisfi alla

$$(4,6) \quad 4 \left[ \frac{(p-1)!}{p} \right] \equiv -3 \pmod{p-4}$$

e che  $p$  non sia primo. La (4,6) si scrive allora:

$$-4(p-1)! \equiv 3p \pmod{p-4}$$

da cui:

$$3p \equiv 0 \pmod{p-4}.$$

Deve essere pertanto

$$3p = \rho(p-4), \text{ con } \rho \in \pm N_0.$$

Ma è:

$$3p = 3(p-4) + 12$$

e quindi, se si vuole che  $3p$  sia multiplo di  $p - 4$ , tale dovrà essere pure 12. Ne segue che  $p - 4 \in \mathcal{D}(12)$  per cui è al piu'  $p = 16$ . Pertanto se  $p \in N_{17}$  verifica la (4,6), tale  $p$  dovrà essere primo.

Nel seguito ci occorrerà il Teorema precedente nella forma che si ottiene cambiando  $p$  in  $p + 4$ , e cioè:

TEOREMA (4-3)<sub>1</sub>. *Condizione necessaria e sufficiente perchè sia*

$$(4,9) \quad p + 4 \in \mathcal{P} \cap N_{11}$$

*è che il naturale  $p \in N_7$  soddisfi alla*

$$(4,10) \quad 4 \left[ \frac{(p+3)!}{p+4} \right] \equiv -3 \pmod{p}.$$

Osserviamo infine che la (4,6) è una condizione perchè  $p \in N_7$  sia primo.

5. Possiamo finalmente dimostrare, usando dei risultati del numero precedente, che se  $p \in N_7$  soddisfa la (3,10), cioè è sufficiente perchè sia:

$$(5,1) \quad p - 2, p, p + 4 \in \mathcal{P}.$$

Cominciamo per questo col provare che:

TEOREMA 5-1. *Supposto che  $p \in N_7$  verifichi la (3,10), il naturale  $p + 4$  è primo.*

Dimostriamo la tesi in ciascuna delle due ipotesi

$$(5,2) \quad p - 2 \in \mathcal{P}$$

e

$$(5,3) \quad p - 2 \notin \mathcal{P}.$$

Procedendo per assurdo, supposto cioè che  $p + 4$  non sia primo, e supponendo che, in un primo tempo, valga la (5,2), la (3,10) può scriversi, tenendo conto della già citata equazione dei numeri primi:

$$(5,4) \quad 8 \frac{(p+3)!}{p+4} + 4 \left\{ \frac{(p-3)!}{p-2} - \frac{p-3}{p-2} \right\} \equiv -11 \pmod{p}.$$

Con facili calcoli, e per il Lemma (4-2)<sub>1</sub> si ottiene allora che, se  $p \in N_7$  verifica la (5,4) esso dovrà verificare la

$$(5,5) \quad 4(p-1)! \equiv 20 \pmod{p}.$$

Ora, supposto un tale  $p$  composto, e quindi elemento di  $N_8 - \mathcal{P}$  è  $(p-1)!$  divisibile per  $p$  e pertanto  $p$  dovrà dividere il numero 20. Ne segue dunque che i soli numeri composti elementi di  $N_8$  che soddisfano alla (5,5) sono i naturali 10 e 20. E tali naturali non soddisfano certo la (3,10) a causa del Lemma 4-1.

Ne' vi sono numeri primi elementi di  $N_7$  che verificano la (5,5). Tale relazione infatti, potendosi porre sotto la forma

$$(5,6) \quad 4 \{(p-1)! + 1\} \equiv 24 \pmod{p},$$

ci dice che se un numero primo soddisfa la (5,6), e quindi la (5,5), esso dovra' essere un divisore (primo) di 24 e quindi non è elemento di  $N_7$ .

Dalla analisi fatta emerge pertanto che se  $p-2$  è primo e se  $p \in N_7$  soddisfa la (3,10), il naturale  $p+4$  non puo' essere composto e deve essere quindi primo.

Cio' posto mostriamo che allo stesso risultato si perviene ammettendo ora che sia:

$$(5,3) \quad p-2 \notin \mathcal{P}.$$

In tale ipotesi, procedendo sempre per assurdo, la (3,10) assume la forma:

$$8 \frac{(p+3)!}{p+4} + 4 \frac{(p-3)!}{p-2} \equiv -11 \pmod{p}.$$

Pertanto, tenendo conto del Lemma 4-2, puo' dirsi che se  $p \in N_7$  verifica la (3,10), esso dovra' verificare la:

$$(5,7) \quad 4(p-3)! \equiv 22 \pmod{p},$$

e quindi anche la:

$$(5,8) \quad 4(p-1)! \equiv 44 \pmod{p}$$

e la:

$$(5,9) \quad 4 \{(p-1)! + 1\} \equiv 48 \pmod{p}.$$

Con ragionamenti assolutamente analoghi a quelli esposti per il caso (5,2), l'esame della (5,8) ci fa concludere che i soli  $p \in N_8$  composti che, nell'ipotesi  $p+4 \notin \mathcal{P}$  e  $p-2 \notin \mathcal{P}$ , verificano la (3,10) sono i naturali 22 e 44 che pero', per il Lemma 4-1, non soddisfano la (3,10). D'altra parte l'esame della (5,9) ci dice che in  $N_7$  non vi sono numeri primi che, nelle stesse ipotesi, verificano la (3,10). Pertanto nelle ipotesi in questione la (3,10) non puo' avere soluzioni.

Se ne conclude che sia nell'ipotesi (5,2), sia nell'ipotesi (5,3), se  $p \in N_7$  soddisfa la (3,10) il supporre  $p+4 \notin \mathcal{P}$  porta all'assurdo che in  $N_7$  la (3,10) non ha soluzioni, epperò se  $p \in N_7$  soddisfa la (3,10) deve essere  $p+4 \in \mathcal{P}$ .



E' pure da osservare, in proposito, che la (3,10) ha certe soluzioni. E infatti è noto che esistono delle terne prime del tipo  $p - 2, p, p + 4$ , con  $p \in N_7$ , ed è stato visto (n.3) che per ognuna di esse  $p$  deve necessariamente verificare la (3,10).

Il Teorema 5-1 è così dimostrato.

Osserviamo ora, infine, che supposto che  $p \in N_7$  verifichi la (3,10), con il che è  $p + 4 \in \mathcal{P}$ , come si è visto, tenendo presente la (4,10), la (3,10) diventa:

$$-6 + 4 \left[ \frac{(p-3)!}{p-2} \right] \equiv -11 \pmod{p},$$

ovvero:

$$(5,10) \quad 4 \left[ \frac{(p-3)!}{p-2} \right] \equiv -5 \pmod{p}.$$

Si è così ottenuto che se  $p \in N_7$  verifica la (3,10), esso deve verificare la (5,10) e cioè, come sappiamo è sufficiente per asserire che  $p - 2$  e  $p$  sono numeri primi.

Si è quindi dimostrato che:

**TEOREMA 5-2.** *Condizione sufficiente (oltre che necessaria) perchè sia*

$$p - 2, p, p + 4 \in \mathcal{P}, \text{ con } p \in N_7$$

*è che  $p$  verifichi la (3,10).*

Finiamo questa Nota osservando che alla (5,10) si poteva pervenire dalla (3,10) senza far uso del Teorema (4-3)<sub>1</sub>.

Avendo infatti provato che se  $p \in N_7$  verifica la (3,10) è  $p + 4 \in \mathcal{P}$ , usando della già citata equazione dei numeri primi, si ha l'identità:

$$\frac{(p+3)!}{p+4} - \left[ \frac{(p+3)!}{p+4} \right] = \frac{p+3}{p+4}$$

da cui:

$$\left[ \frac{(p+3)!}{p+4} \right] = \frac{(p+3)!}{p+4} - \frac{p+3}{p+4}.$$

Pertanto se  $p \in N_7$  verifica la (3,10), esso verifica la:

$$8 \left\{ \frac{(p+3)!}{p+4} - \frac{p+3}{p+4} \right\} + 4 \left[ \frac{(p-3)!}{p-2} \right] \equiv -11 \pmod{p},$$

ovvero la: